

KUNTIEN SISÄISEN LIIKENTEEEN MALLIT JA OMINAISUUDET

Jukka Peura

Teknillisen korkeakoulun rakennus ja maanmittaustekniikan osastolla apul. prof. Matti Pur-sulan valvomana ja ohjaamana v. 1993 valmistunut diplomityö.

Tekijä ja työn nimi :

Jukka Peura

Kuntien sisäisen liikenteen mallit ja ominaisuudet

Päivämäärä : 03.02.1993

Sivumäärä : 64

Osasto :
Rakennus- ja maanmittaus-
tekniikka

Professuuri :
Liikennetekniikka

Työn valvoja :

Apul.Prof. Matti Pursula

Työn ohjaaja :

Apul.Prof. Matti Pursula

Työn tarkoituksena on ollut mallintaa kuntien sisäistä autoliikennettä ja tutkia sen ominaisuuksia. Tutkimusaineistona on ollut Tielaitoksen vuosina 1987 - 91 tienvarsihaastatteluina tekemät määräpaikkatutkimukset, joista on valittu 16 kunnassa tehdyt tutkimukset. Haastattelupisteiden kokonaismäärä oli 49.

Työssä muodostettiin suoria kysyntämalleja kuvaamaan kuntien sisäisiä liikennevirtoja. Vuorokausiliikenteelle tehtiin mallit kaikille matkoille, ajoneuvotyyppien mukaan (kevyet, raskaat) sekä matkaryhmien mukaan (työ, asiointi, kuljetus, muut). Huipputuntien virroille tehtiin mallit kaikille matkoille. Mallien estimoinnissa käytettyjen liikennevirtahavaintojen määrä oli mallista riippuen 116-349.

Suurimmassa osassa malleja päämuuttujina olivat osa-alueiden asukas- ja työpaikkamäärät, osa-alueiden työpaikkaomavaraisuuksien erotus sekä niiden välinen etäisyys. Yksikään kuntatason muuttuja ei tullut merkitseväksi. Päämallien (KAVL, AHT, IHT) logaritmisten muotojen selitysasteet vaihtelivat 0.44-0.61. Havaintojen ja näillä malleilla laskettujen arvojen väliset korrelaatiokertoimet vaihtelivat 0.63-0.72.

Tutkittuja sisäisen liikenteen ominaisuuksia olivat mm. ajoneuvokoostumus ja matkatyyppien jakauma, näiden vaihtelut eri vuorokauden aikoina sekä eri ajoneuvotyyppien matkojen tarkoitus ja matkatyyppien ajoneuvokoostumus.

Työssä on myös lyhyesti selostettu suorien kysyntämallien yleisiä ominaisuuksia.

Author and name of the thesis :
Jukka Peura

Models and Characteristics of Communal Traffic Flows

Date : 03.02.1993

Number of pages : 64

Department :
Faculty of Civil Engineering
and Surveying

Professorship :
Traffic and Transportation
Engineering

Supervisor :

Assoc.Prof. Matti Pursula

Instructor :

Assoc.Prof. Matti Pursula

In this study direct demand models have been estimated for the communal traffic flows. Also characteristics of communal traffic has been researched. As a research material have origin-destination data of studies made in years 1987-1991 by Road Administration of Finland been used. Of them 16 studies from different parts of Finland have been chosen. The total number of road side interview points was 49.

Models were estimated for whole day for all trips and models by vehicle type (light, heavy) and by trip class (work, personal business, transportation, other). Also models for peak hour traffic flows were made. The number of non-zero traffic flow observations was 116-349 depending on the model.

The main variables of most of the models were population and work places of zones, difference of work place self-sufficiency between zones and distance between zones. No variable of communal level was significant. Coefficient of determination (R^2) of the logarithmic form of main models (daily traffic for all trips and peak traffic flows) were 0.44-0.61. Correlations between observed flows and flows that were estimated by these models were 0.63-0.72.

Characteristics that were researched of communal traffic were for example composition of vehicle types and trip classes and their variation among daytime, vehicle composition of different trip classes and trip class composition of different vehicle types.

In this study has also been briefly described general characteristics of direct demand models.

Tämä työ on tehty Panplan Oy:ssä yhteistyössä Tiehallituksen tutkimuskeskuksen kanssa, joille esitän kiitokseni työn taloudellisten ja teknisten resurssien järjestämisestä.

Espoossa 3.2.1993


Jukka Peura

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
KUVALUETTELO	7
TAULUKKOLUETTELO	7
LIITELUETTELO	8
1. JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoitteet	9
1.3 Tutkimusaineisto	10
2. SUORAN KYSYNTÄMALLIN TAUSTAA	12
3. KUNTIEN SISÄISEN LIIKENTEE OMINAISUUDET	16
3.1 Yleistä	16
3.2 Matkojen pituusjakauma	17
3.3 Ajoneuvokoostumus	18
3.4 Matkatyypit	21
3.5 Tuntivaihtelut	23
4. KUNNAN SISÄISEN LIIKENTEE MALLINTAMINEN	27
4.1 Mallintamisen lähtökohdat	27
4.2 Aineisto	28
4.3 Liikennevirtamallit	30
4.3.1 Yleistä	30
4.3.2 Vuorokausiliikenteen virrat	31
4.3.2.1 Kaikkien matkojen arki- vuorokausiliikenne	31
4.3.2.2 Kevyiden ajoneuvojen arki- vuorokausiliikenne	33
4.3.2.3 Raskaiden ajoneuvojen arki- vuorokausiliikenne	34
4.3.2.4 Työmatkat	35
4.3.2.5 Asiointimatkat	36

4.3.2.6 Kuljetusmatkat	37
4.3.2.7 Muut matkat	39
4.3.3 Huipputuntien liikennevirrat	39
4.3.3.1 Aamuhuippu	30
4.3.3.2 Iltahuippu	40
4.4 Mallien testaus	42
5. TUTKIMUSTULOSTEN ARVIOINTI	52
5.1 Mallien vertailu	52
5.1.1 Vuorokausiliikenteen mallit	52
5.1.2 Huipputuntien mallit	56
5.2 Mallien käyttö	58
6. YHTEENVETO	60
LÄHDELUETTELO	64
LIITTEET	

KUVAT:

- Kuva 1. Määräpaikkatutkimusten matkojen suuntautuminen.
- Kuva 2. Kaikkien kunnan sisäisten matkojen pituusjakauma.
- Kuva 3. Ajoneuvokoostumus kuntakoon mukaan.
- Kuva 4. Ajoneuvokoostumus huipputuntien aikana ja koko haastatteluaikana.
- Kuva 5. Ajoneuvokoostumukset matkaryhmittäin.
- Kuva 6. Matkatyyppikoostumus kuntakoon mukaan.
- Kuva 7. Matkatyyppikoostumus huipputuntien aikoina ja koko haastatteluaikana.
- Kuva 8. Matkaryhmäkoostumus ajoneuvolajeittain.
- Kuva 9. Kunnan sisäisten matkojen tuntivaihtelut.
- Kuva 10. Eri matkaryhmien tuntivaihtelut.
- Kuva 11. Eri ajoneuvolajien tuntivaihtelut.
- Kuva 12. Vuorokausiliikenteen mallin residuaalien hajonta.
- Kuva 13. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin residuaalien hajonta.
- Kuva 14. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin logaritmisien muodon residuaalit.
- Kuva 15. Kaikkien matkojen korjatun mallin residuaalit suhteessa etäisyyteen.
- Kuva 16. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin osuvuus.
- Kuva 17. Joensuun liikennetutkimuksen ja korjatulla mallilla lasketun ennusteen vertailu.
- Kuva 18. Ennustettujen matkojen etäisyysjakaumat.
- Kuva 19. Käytetyt etäisyysfunktiot.

TAULUKOT:

- Taulukko 1. Tutkimusaineiston laajuus.
- Taulukko 2. Päämallien tilastolliset tunnusluvut.
- Taulukko 3. Korjatut päämallit.

LIITTEET:

Liite 1. Haastattelukuntien sijainti.

Liite 2. Tutkimuskuntien osa-aluejako ja haastattelupisteet.

Liite 3. Haastattelulomake.

Liite 4. Estimoidut mallit.

Liite 5. Päämallien residuaalit.

Liite 6. Korjattujen päämallien residuaalit.

Liite 7. Joensuun sijoittelut.

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tiehallituksessa on aikaisemmin mallinnettu kuntien välisiä liikennevirtoja valtakunnallisen tieverkkosuunnittelun apuvälineeksi. Paikallisessa tieverkkosuunnittelussa kunta-aluejako on kuitenkin liian karkea. Lähes kaikissa hankkeissa, joissa tehdään liikenne-ennuste nykyisestä poikkeavalle tieverkolle, tarvitaan tietoa myös kunnan osien välisestä liikenteestä. Koska täydellisen tutkimuksen tekeminen on käytännössä mahdotonta, joudutaan osa virroista ennustamaan mallien avulla. Viimeaikoina on tehty useita määräpaikkatutkimuksia, joissa on käytetty kuntien sisäistä osa-aluejakoa. Näiden avulla on mahdollista tuottaa mallit kunnan osa-alueiden välisille liikennevirroille. Määräpaikkatutkimukset mahdollistavat myös sellaisten liikenteen ominaisuuksien tutkimisen, joita ei ilman haastatteluaineistoa ole mahdollista tutkia.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on ollut tuottaa kunnan osien väliset liikennevirtamallit vuorokausiliikenteelle sekä aamu- ja iltahuipputunneille. Samalla tavoitteena on ollut viime vuosina kerätyn määräpaikkatutkimusaineiston kokonaisvaltainen hyödyntäminen.

Vuorokausiliikenteestä on pyritty tuottamaan mallit myös matkan tarkoituksen ja ajoneuvolajin mukaan. Lisäksi tutkitaan kuntien sisäisen liikenteen ajoneuvokoostumusta, matkojen tarkoitusjakaumaa sekä näiden tuntivaihteluita.

Tarkoituksena on ollut luoda mallit suhteellisen yksinkertaisiksi ja helppokäyttöisiksi. Muuttujina on käytetty kunnista kohtuullisen helposti saatavia tunnuslukuja.

1.3 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto muodostuu Tielaitoksen vuosina 1987-91 tekemistä määräpaikkatutkimuksista. Mukaan on valittu 16 kunnassa tehdyt määräpaikkatutkimukset. Tutkimuskunnat ja -ajankohdat ovat seuraavat:

Kangasala	toukokuu 1987
Lohja	lokakuu 1987
Kerava	huhti-toukokuu 1988
Joensuu	toukokuu 1988
Kokemäki	toukokuu 1988
Kouvola	syyskuu 1988
Siilinjärvi	lokakuu 1988
Salo	huhti-toukokuu 1989
Halikko	huhti-toukokuu 1989
Porvoo	toukokuu 1989
Joutseno	toukokuu 1989
Savitaipale	toukokuu 1989
Karkkila	lokakuu 1989
Lieto	toukokuu 1990
Hausjärvi	toukokuu 1990
Pudasjärvi	toukokuu 1991

Valituissa tutkimuksissa on käytetty kunnan sisäistä osa-aluejakoa. Muina valintakriteereinä on ollut maankäyttötietojen saatavuus tutkimuksen aluejakoa vastaavalla jaollla. Osa-alueista saadut maankäyttötiedot sisältävät tiedot asukasmääristä ja työpaikkamääristä. Työpaikat on jaettu palvelutyöpaikkoihin ja muihin työpaikkoihin. Myös valittujen haastattelupisteiden tuli sijaita niin, että voidaan olettaa tarkasteltavien sisäisten liikennevirtojen kulkevan kokonaisuudessaan niiden kautta. Tällaisia pisteitä valituissa tutkimuksissa oli yhteensä 49. Tutkimusten osa-aluejako sekä haastattelupisteiden sijainnit on esitetty liitteessä 2. Tutkimuskuntien sijainnit on esitetty liitteessä 1.

Taulukossa 1 on esitetty kustakin valitusta tutkimuksesta aineistoon valittujen pisteiden määrä, osa-alueiden määrä kunnassa, niiden alueparien eli liikennevirtojen määrä,

jotka on voitu olettaa havaituksi valituissa pisteissä, edellisistä aluepareista tutkimusaineistoon valitut, kunnan asukasmäärä ja valittujen pisteiden haastattelusuunnat suhteessa kunnan keskusta.

Taulukko 1. Tutkimusaineiston laajuus.

KUNTA	VUOSI	PIST. LKM	ALUEITA LKM	ALUE- PAREJA	NÄISTÄ MUKAAN	ASUKAS- MÄÄRÄ	HAASTATTELU- SUUNTA
JOENSUU	1988	3	26	144	50	47204	Keskustasta
KOUVOLA	1988	6	32	70	50	31632	Keskustaan
KERAVA	1988	4	9	16	16	27155	Molempiin suuntiin
SALO	1989	1	20	26	10	21493	Keskustaan
KANGASALA	1987	5	14	72	50	20779	Keskustaan
PORVOO	1989	3	30	189	50	20287	Keskustaan
SIILINJ.	1988	1	11	24	14	18544	Molempiin suuntiin
LOHJA	1987	4	7	5	5	15008	Keskustaan
LIETO	1990	1	13	15	9	12077	Keskustaan
JOUTSENO	1989	2	6	4	4	11868	Keskustasta
PUDASJ.	1991	7	11	38	23	11151	Keskustasta
KOKEM.	1988	1	19	2	2	9527	Keskustaan
KARKKILA	1989	4	22	106	50	8813	Keskustaan
HALIKKO	1989	2	6	2	2	8485	Keskustasta
HAUSJ.	1990	2	4	2	2	7792	Molempiin suuntiin
SAVIT.	1990	3	6	12	12	4838	Keskustaan
YHT		49	236	727	349	276653	

Vuorokausitason liikennevirrat tutkimusaineistossa jakautuvat haastattelusuunnittain siten, että keskustaan päin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu 21550 ajoneuvoa, keskustasta pois 24750 ajoneuvoa ja molempiin suuntiin 5255 ajoneuvoa.

Määräpaikkatutkimukset on tehty tienvarsihaastatteluina yleisellä tieverkolla sekä katuverkolla. Yleensä on haastateltu vain toinen suunta. Haastateltavista on selvitetty ajoneuvotyyppi, lähtöpaikka, määräpaikka sekä matkan tarkoitus. Haastattelulomakkeesta käy ilmi myös haastattelu-tunti. Lomakkeessa on lisäksi kysymys lähtö- ja määräpaikkojen tyypeistä (koti, työ, muu), mutta sitä ei ole yleensä haastatteluissa kysytty. Lomake on esitetty liitteessä 3.

Tutkimuspisteissä on tehty haastattelutunteina liikenne-laskennat aineiston laajentamista varten. Käytetyissä tutkimuksissa keskimääräinen otosprosentti on ollut 65.

2. SUORAN KYSYNTÄMALLIN TAUSTAA

Tässä luvussa lähteenä on ollut teos Methods of Aggregate Travel Demand Analysis and Forecasting, jonka ovat tehneet M. Zaidi ja A. Talvitie vuonna 1973. Muut lähteet on ilmoitettu tekstissä.

Suorat kysyntämallit ovat malleja, joilla ennustetaan liikennevirrat ryhmätasolla suoraan tietystä lähtöpaikasta tiettyyn määräpaikkaan määrättyllä kulkumuodolla ja tiettyinä vuorokauden aikana (Laaksonen 1977). Perinteiseen portaittaiseen ennustemenetelmään verrattuna tämä on hieman yksinkertaisempi. Suoria kysyntämalleja käytettäessä on mahdollista välttää joitain portaittaisen menetelmän ongelmakohtia. On esimerkiksi väitetty, että vetovoimallille aiheuttavat ongelmia mahdolliset virheet alueelle päättyvien matkojen kokonaismäärissä sekä virheet alueiden sisäisissä matkoissa. (Ortuzar 1990)

Malleissa on yleensä selittävinä muuttujina sosioekonomisia, aktiviteettia sekä liikennejärjestelmää kuvaavia tekijöitä. Mallin yleinen muoto on:

$$(1) \quad T_{ijm} = f(L_{ijm}, L_{ijm}^*, S_i, A_j)$$

jossa

$$\begin{aligned} L_{ijm} &= \text{palvelutaso kulkumuodolla } m, m^* \\ S_i &= \text{alueen } i \text{ sosioekonomiset tekijät} \\ A_j &= \text{alueen } j \text{ aktiviteettitekijät} \end{aligned}$$

Suorat kysyntämallit voidaan jakaa kulkumuotoriippumattomiin ja -sidonnaisiin malleihin. Kulkumuotoriippumattomaan malliin voidaan lisätä uusi kulkumuoto, kun taas kulkumuotosidonnaisiin malleihin ei voi näin tehdä.

Esimerkkinä kulkumuotoriippumattomasta mallista esitetään Baumol-Quandt-malli, joka on kehitetty vuonna 1960. Mallissa verrataan tarkasteltavan kulkumuodon ominaisuuksia vastaaviin eri kulkumuotojen "parhaisiin" ominaisuuksiin.

Mallin yleinen muoto on seuraava:

$$(2) \quad T_{ij}|_m = f((L_{ij}|_m), (L_{ij}|_b), (SE_i), (A_j))$$

jossa

$T_{ij}|_m$ = liikennemäärä alueiden i ja j välillä kulkumuodolla m

$L_{ij}|_m$ = palvelutasomuuttujat kulkumuodolla m jaettuna vastaavalla "parhaalla" arvolla alueiden i ja j välillä

$L_{ij}|_b$ = kaikkien yksittäisten palvelutasomuuttujien "parhaat" arvot kulkumuodosta riippumatta

SE_i, A_j = sosioekonomiset ja aktiviteettitekijät alueilla i ja j

Baumol-Quandt-malli perustuu oletukseen, että kulkumuotojen välistä kilpailua esiintyy vain suhteessa parhaaseen vaihtoehtoon. Näin ollen toiseksi parhaan kulkumuodon palvelutasossa tapahtuvat muutokset eivät vaikuta muiden kulkumuotojen liikenteen kysyntään.

Esimerkkinä kulkumuotosidonnaisesta mallista esitetään Kraft-Wohl-malli. Tässä mallissa ovat mukana kaikkien käytettyjen kulkumuotojen järjestelmämuuttujat. Kahden kulkumuodon yleinen muoto on seuraava:

$$(3) \quad T_{ij}|_{m, H_1} = f((L_{ij}|_A, H_1), (L_{ij}|_A, H_2), \\ (L_{ij}|_T, H_1), (L_{ij}|_T, H_2), \\ (SE_i), (A_j))$$

jossa

$T_{ij}|_{m, H_1}$ = kaksisuuntainen liikennevirta alueiden i ja j välillä kulkumuodolla m ajassa H_1

$L_{ij}|m, H_x$ = palvelutasotekijät kulkumuodolla m (A on auto, T on joukkoliikenne) alueiden i ja j välillä aikana H_x ($x=1$: huippu, $x=2$: muu aika)

SE_i = alueen i sosioekonomiset tekijät

A_j = alueen j aktiviteetti tekijät

Edellä kuvattu malli mahdollistaa kaikkien käytettyjen kulkumuotojen keskinäisen vertailun (ristijoustopot). Tässä suhteessa Kraft-mallia on pidetty parhaina kuin Baumol-Quandt-mallia. Toisaalta se, ettei Kraft-malliin voi lisätä uusia kulkumuotoja on haitta verrattuna Baumol-Quandt-malliin.

Yleisesti suoran kysyntämallin heikkoutena on, ettei se ota huomioon vaihtoehtoisten määräpaikkojen keskinäistä kilpailua. Tämä ei välttämättä vaikuta merkittävästi kun mallinnetaan työmatkoja, mutta muiden matkaryhmien kuten esim. asiointimatkojen malleihin edellä mainitulla seikalla on mallia heikentävä vaikutus. Suoran kysyntämallin puutteena on myös pidetty käytännössä tehtyä havaintoa, jonka mukaan alueittaiset matkatuotokset eivät aina ole mielekkäitä. Tämä johtuu kuitenkin yleensä muista seikoista kuin mallista itsestään. Tällaisia seikkoja voivat olla esim. merkittävien muuttujien puuttuminen tai ongelmat osa-aluejaossa.

Suoran kysyntämallin vahvoina puolina voidaan pitää sitä, että siinä yhdistyvät matka-tuotokset, matkojen suuntautuminen ja kulkumuotojako samassa yhtälössä. Malliin voidaan myös ottaa mukaan mikä tahansa palvelutasomuuttuja, jossa voi olla useamman kulkumuodon ominaisuuksia mukana. Etuna voidaan pitää myös sitä, että malli ei ole iteroiva vaan tulokset saadaan jo ensimmäisellä laskentakierroksella, jolloin oikeat palvelutasomuuttujat, kuten esim. matka-aikat ruuhka-aikana, voidaan suoraan sisällyttää malliin.

Suorien kysyntämallien estimointi on yksinkertaista sillä mallin vakiot voidaan määrittää tavallisilla tilastollisilla menetelmillä.

3. KUNTIEN SISÄISEN LIIKENTEEN OMINAISUUDET

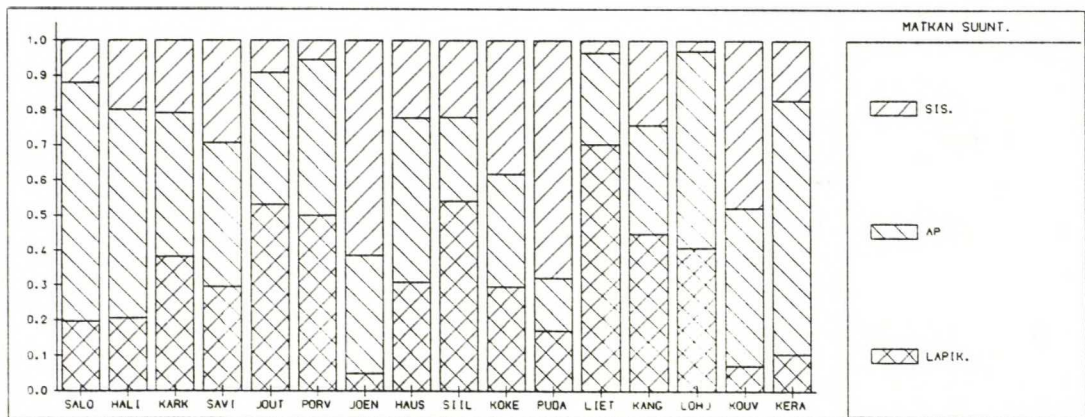
3.1 Yleistä

Tutkimusaineisto muodostuu 16 kunnassa tehdyistä määräpaikkatutkimuksista, joista on seulottu mukaan vain kunnan sisäinen liikenne. Sisäisellä liikenteellä tarkoitetaan matkoja, jotka sekä alkavat että päättyvät tutkimuskunnan alueella.

Käytetyissä määräpaikkatutkimuksissa niissä pisteissä, jotka olivat kyseisen kunnan alueella, matkat jakautuivat sisäisiin, alkaviin ja päättyviin sekä läpikulkeviin matkoihin seuraavasti:

- sisäiset 24.0 %
- alkavat ja päättyvät 42.1 %
- läpikulkevat 33.9 %.

Nämä suhteet ovat suuresti riippuvaisia haastattelupisteiden sijainneista. Tästä syystä osuudet vaihtelevat tutkimuskunnittain paljon. Kuvassa 1 on esitetty matkojen jakautuminen sisäisiin, alkaviin ja päättyviin sekä läpikulkeviin kussakin tutkimuskunnassa.



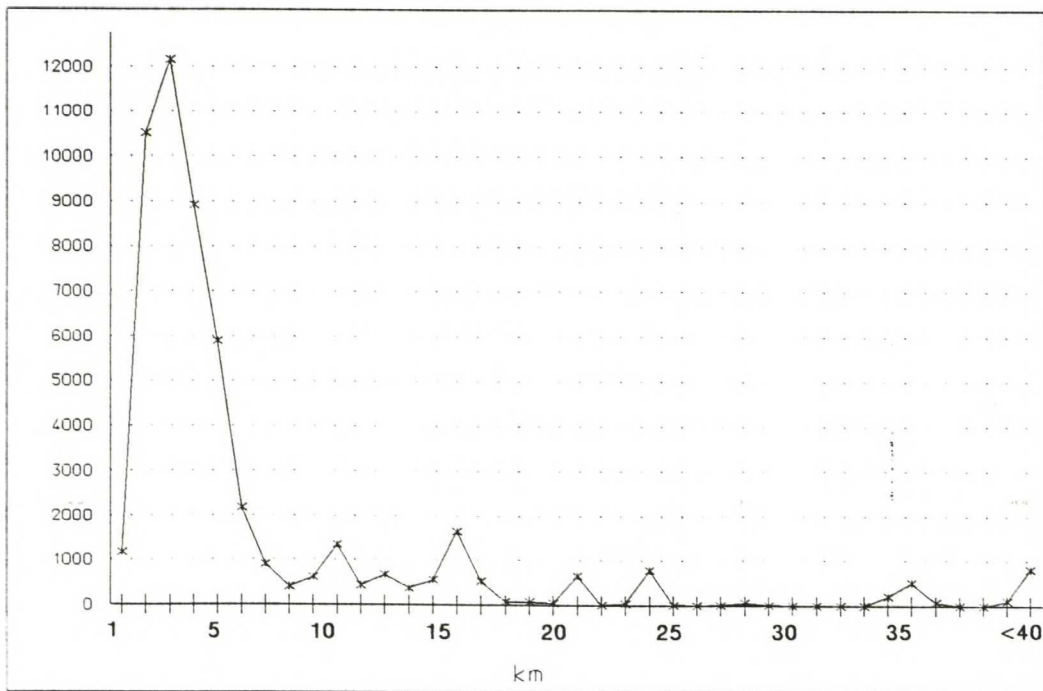
Kuva 1. Määräpaikkatutkimusten matkojen suuntautuminen.

Sisäisten matkojen osuus on pieni useassa kunnassa tässä havaintoaineistossa. Tämä saattaa aiheuttaa tulosten vääristymistä.

Sisäisen liikenteen ominaisuuksien tutkimiseksi on tuotettu kahden muuttujan ristiintaulukointeja. Tutkittuja ominaisuuksia ovat olleet ajoneuvokoostumus, matkojen tar-
koitusjakauma sekä tuntivaihtelut.

3.2 Matkojen pituusjakauma

Kaikkien kunnan sisäisten matkojen pituusjakauma on esitetty kuvassa 1. Pituuksien mediaani on 3.2 km ja painotettu keskiarvo on 6.2 km. Eniten esiintyy n. 3 km:n pituisia matkoja, joita on yli 12 000. Pääosa matkoista on 1 - 7 km:n pituisia. Yli 40 km pitkiä matkoja on 1.6 % kaikista matkoista. Nämä pitkät matkat on kaikki havaittu Pudasjärven kunnassa.



Kuva 2. Kaikkien kunnan sisäisten matkojen pituusjakauma.

3.3 Ajoneuvokoostumus

Koko aineiston sisäisen liikenteen ajoneuvokoostumus oli haastatteluaajan (klo 6-20) liikenteen osalta seuraava:

- Henkilöauto (HA)	86.8 %
- Pakettiauto (PA)	8.8 %
- Kuorma- ja linja-autot (RAS)	4.4 %.

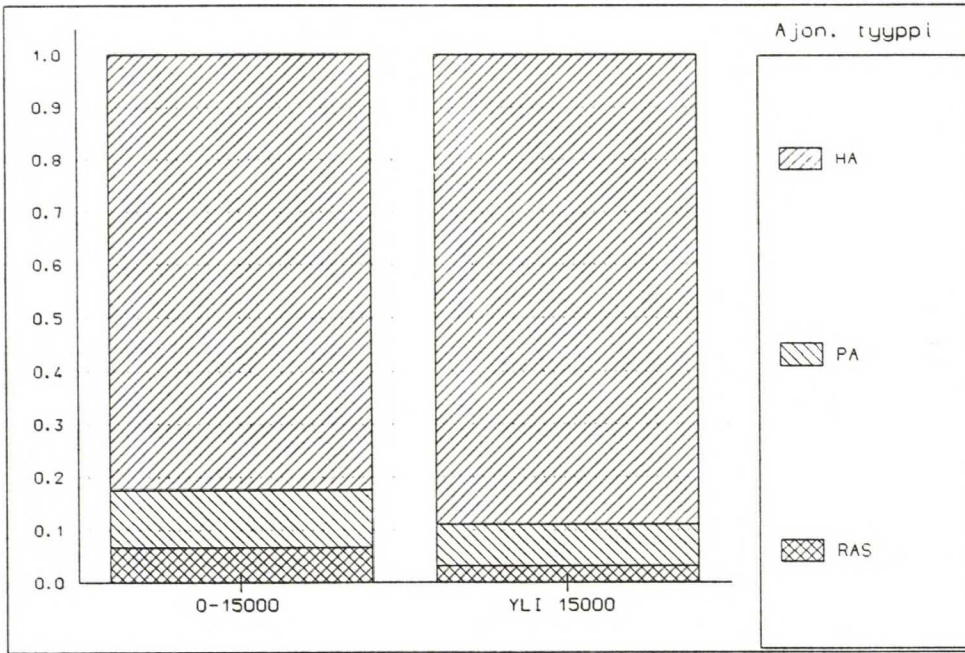
Haastattelulle liikenteelle on tehty otoskorjaus, jonka jälkeen kokonaisliikennemääräksi saatiin 60 055. Otosprosentti vaihteli eri tutkimuksissa 52-97 %:iin keskimääräisen otosprosentin ollessa 65 %. Käytettyjen tutkimusten kaikkien matkojen (sisäiset, alkavat ja päättyvät sekä läpikulkevat) ajoneuvokoostumus oli seuraava:

- HA	81.0 %
- PA	9.4 %
- RAS	9.6 %.

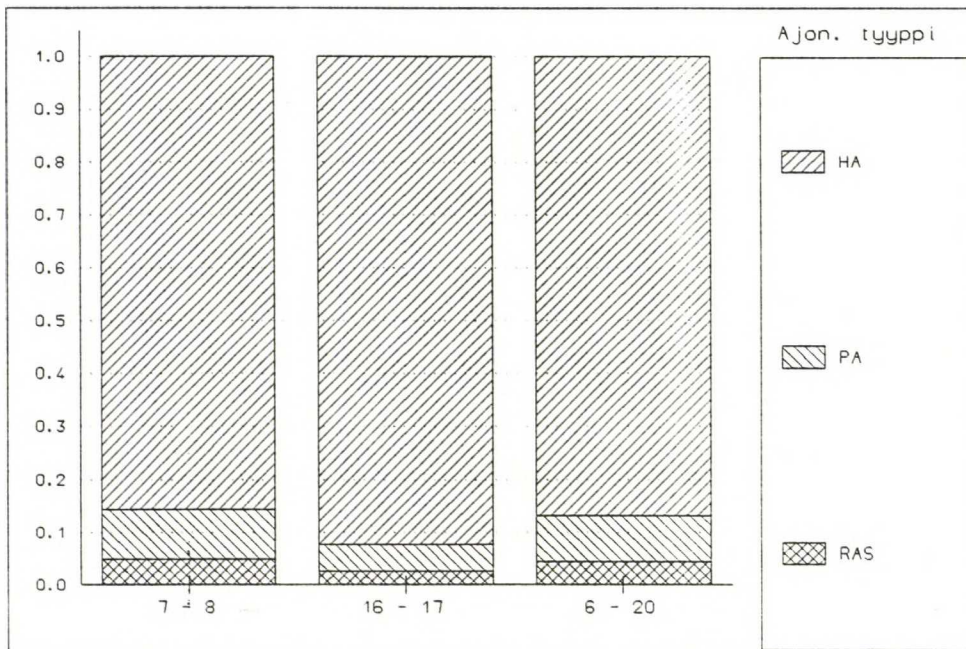
Henkilöautomatkojen osuus kunnan sisäisessä liikenteessä on selvästi suurempi kuin kokonaisliikenteessä. Vastavasti raskaiden osuus sisäisessä liikenteessä on alle puolet raskaiden osuudesta kokonaisliikenteessä.

Raskaisiin ajoneuvoihin on tässä luettu kuorma-autot ja linja-autot (KAIP, KAP ja LA).

Kunnan koon vaikutusta sisäisen liikenteen ajoneuvokoostumukseen on havainnollistettu kuvassa 3. Henkilöautojen osuus hieman kasvaa, pakettiautojen osuus laskee vähän ja raskaiden ajoneuvojen osuus vähenee lähes puoleen kuntakoon kasvaessa yli 15 000:n.



Kuva 3. Ajoneuvokoostumus kuntakoon mukaan.

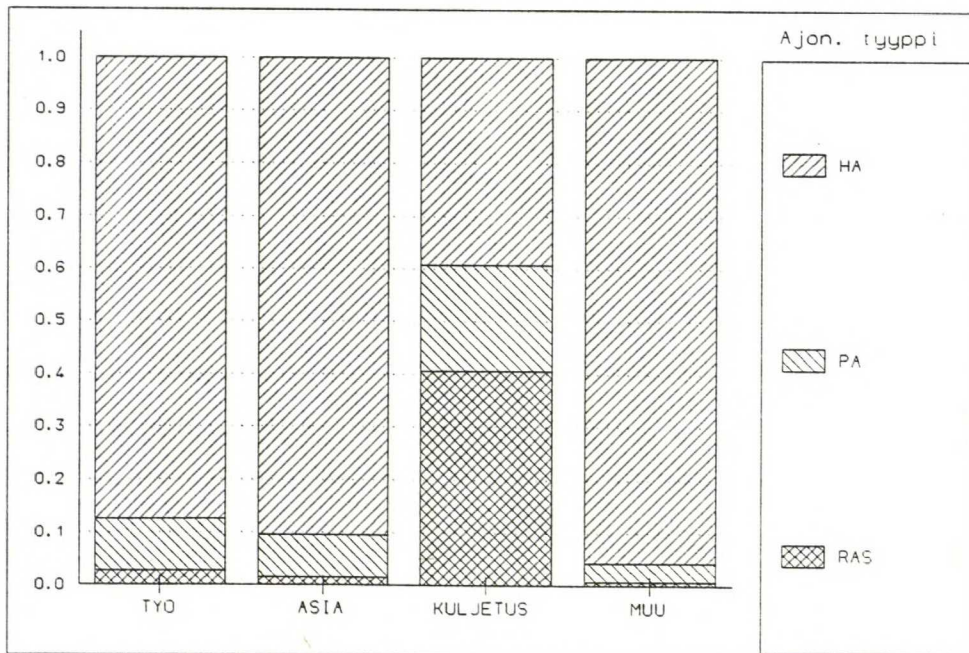


Kuva 4. Ajoneuvokoostumus huipputuntien aikana ja koko haastatteluaihana.

Ajoneuvokoostumusta aamu- ja iltahuipun aikana sekä koko haastatteluaihana on havainollistettu kuvassa 4. Henki-

löautojen osuus on suurimmillaan iltahuippun aikana. Vastaavasti raskaiden osuus on selvästi pienimmillään iltahuipussa. Aamuruuhkan ajoneuvokoostumus on lähes sama kuin koko haastatteluaajan koostumus.

Matkan tarkoituseriömiön ajoneuvokoostumukset on esitetty kuvassa 5. Työmatkoista tehdään n.88 % henkilöautolla. Työmatkat sisältävät myös opiskelumatkat. Myös asiointimatkoista tehdään valtaosa (n.90 %) henkilöautolla. Kuljetusmatkoista tehdään vain n. 40 % raskailla ajoneuvoilla. Kuntien sisäisessä liikenteessä kuljetusmatkat tehdään suurimmaksi osaksi kevyillä ajoneuvoilla. Ilmeisesti lyhytmatkaisessa tavarankuljetuksessa yksiköt ovat pieniä, jolloin kuljetuksiin voidaan käyttää useammin kevyitä ajoneuvoja. Matkaryhmässä "muu" suurin osa matkoista on vapaa-ajan matkoja, joten on ilmeistä, että lähes kaikki nämä matkat tehdään henkilöautolla.



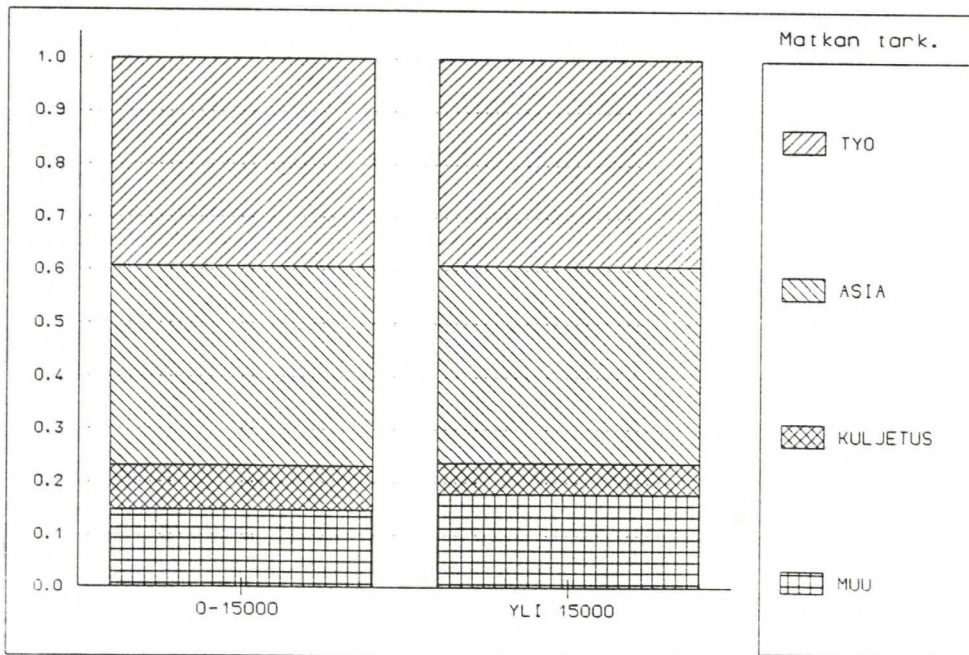
Kuva 5. Ajoneuvokoostumukset matkaryhmittäin.

3.4 Matkatyypit

Aineiston matkatyyppien jakauma haastatteluaajan liikenteessä oli seuraava:

- Työ- ja opiskelumatkat 39.5 %
- Asiointimatkat 37.2 %
- Kuljetusmatkat 6.5 %
- Muut matkat 16.8 %.

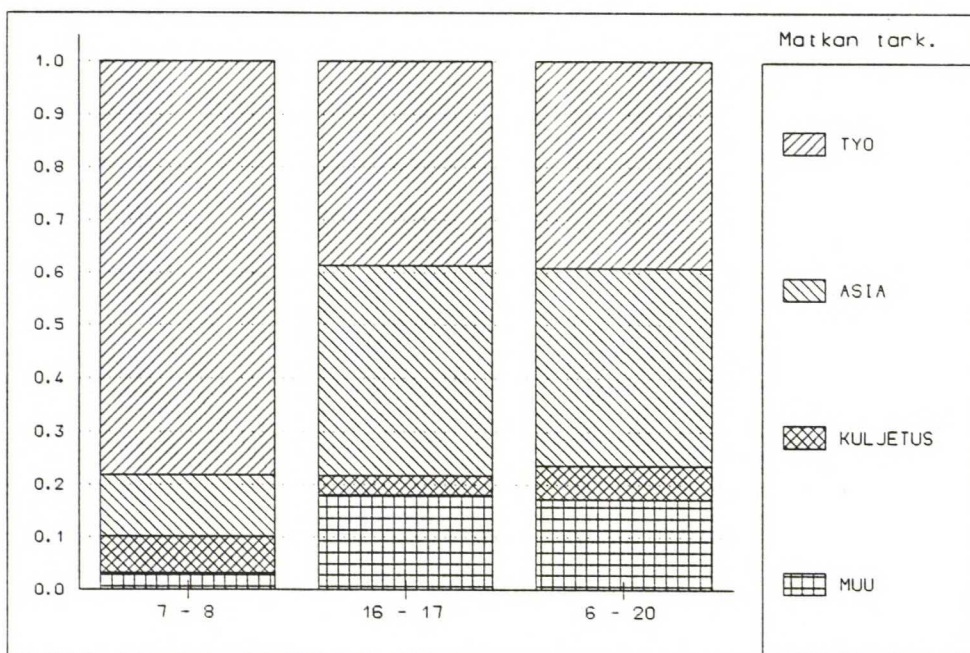
Jatkossa työ- ja opiskelumatkaryhmästä käytetään yksinkertaisuuden vuoksi nimeä työmatkat. Työmatkat sisältävät työajan matkat sekä matkat kodista töihin ja päinvastoin. Kuljetusmatkat sisältävät sekä kevyillä että raskailla ajoneuvoilla tehdyt matkat, joilla matkan pääasiallinen tarkoitus on ollut kuljetus. Muut matkat sisältävät tässä tutkimuslomakkeen matkaryhmät vierailu, loma ja muu. Suurin osa tämän ryhmän matkoista on vapaa-ajan matkoja.



Kuva 6. Matkatyyppikoostumus kuntakoon mukaan.

Kunnan koon vaikutus matkatyyppijakaumaan ei ole merkittävä. Kuljetusmatkojen osuus on pienissä kunnissa n. 2.5 %-

yksikköä suurempi kuin suurissa kunnissa. Vastaavasti suurissa kunnissa tehdään enemmän matkoja matkaryhmässä muut matkat.

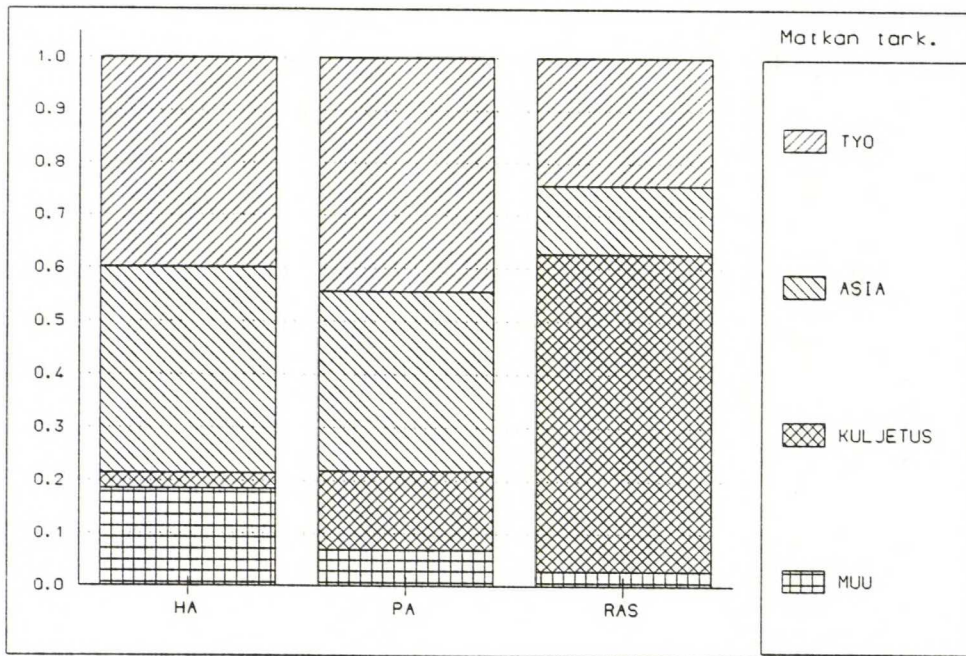


Kuva 7. Matkatyyppikoostumus huipputuntien aikoina sekä koko haastatteluaikana.

Aamuhuipun aikana työmatkojen osuus on hallitseva (77 %). Iltahuipussa työmatkojen osuus putoaa alle 40 %:n, mikä on luonnollista, sillä iltahuipputunnin aikana tehdään paljon asiointimatkoja, esim. töistä kotiin mentäessä poiketaan kauppaan, kun taas aamuhuipputunnin aikana useimmat palvelupaikat eivät ole vielä auki. Iltahuipputuntiliikenteen osuus haastatteluajan liikenteestä oli 8.7 %. Vastaavasti aamuhuipun osuus oli 6.7 %.

Eri ajoneuvolajien matkan tarkoituserhmäjakaumat on esitetty kuvassa 8. Henkilöautomatkojen tyyppijakauma on odotetun kaltainen eli työ- ja asiointimatkojen osuus on hallitseva. Pakettiautomatkojen osalta kuljetusmatkojen osuus on yllättävän pieni (15 %). Tähän voivat osaltaan vaikuttaa mahdolliset väärinkäsitykset työ- ja kuljetusmatkaryhmien välillä. Kuljetusmatka on yleensä myös työajan matka, joten ei ole aivan yksiselitteistä mihin ryhmään vastaaja

matkansa luokittelee. Raskaiden ajoneuvojen matkatyyppijakaumassa odotetusti suurin ryhmä ovat kuljetusmatkat (60 %). Työmatkojen suureen osuuteen voi olla syynä sama ongelma kuin pakettiautoilla. Toisaalta sisäisessä liikenteessä saatetaan tehdä raskailla ajoneuvoilla suhteessa enemmän kotiperäisiä työmatkoja kuin pitempimatkaisessa liikenteessä.



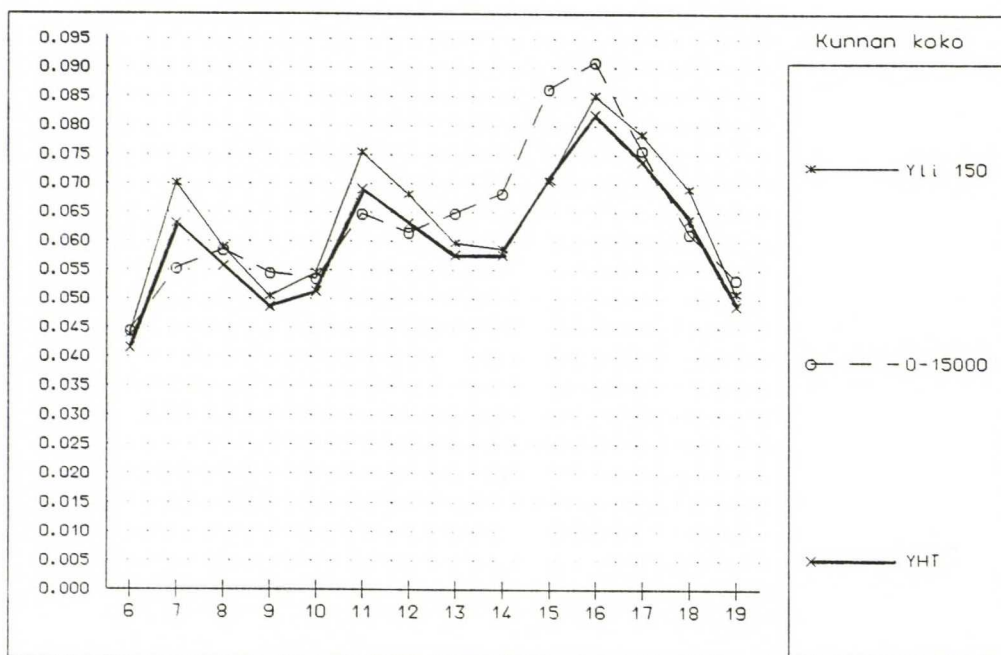
Kuva 8. Matkaryhmäkoostumus ajoneuvolajeittain.

3.5 Tuntivaihtelut

Haastatteluajan liikenteen osuus vuorokausiliikenteestä on arvioitu maantieliikenteen vaihtelumuotojen (TIEH 1990) avulla. Eri matkaryhmien haastatteluajan liikenteen osuus on laskettu ajoneuvotyyppien vaihtelumuotojen (TIEH 1982) perusteella, kun kohdan 3.3 perusteella on tiedetty kunkin matkaryhmän ajoneuvokoostumus. Haastatteluajan (6-20) liikenteen osuuksiksi saatiin:

-	kaikki matkat	89.4 %
-	henkilöautot	89.7 %
-	pakettiautot	95.3 %
-	raskaat ajon.	86.0 %
-	työmatkat	90.2 %
-	asiointimatkat	90.1 %
-	kuljetusmatkat	85.3 %
-	muut matkat	87.8 %.

Seuraavaksi esitettävät tuntivaihtelut ilmaisevat kyseisen tunnin osuutta vuorokausiliikenteestä olettaen, että haastatteluaajan liikenteen osuudet vuorokausiliikenteestä ovat yllä esitetyn mukaisia.

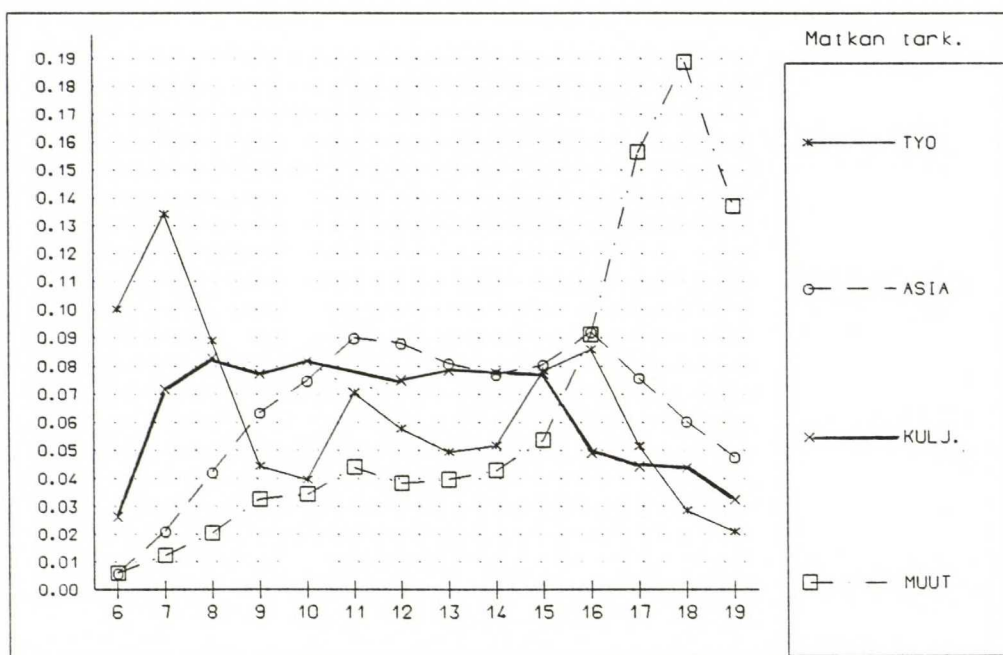


Kuva 9. Kunnan sisäisten matkojen tuntivaihtelut.

Koko aineiston tuntivaihtelut on esitetty kuvassa 9. Ilta-päivähuippu on selvästi voimakkain ja se saavutetaan klo 16-17. Kunnan sisäisessä liikenteessä keskipäivähuippu on aavistuksen voimakkaampi kuin aamuhuippu. Tämä johtunee siitä, että aamuhuipun aikana tehdään enemmän työmatkoja,

joista osa on kuntien rajat ylittävää kun taas päivällä suurin matkaryhmä ovat asiontimatkat, jotka usein tehdään kunnan sisällä.

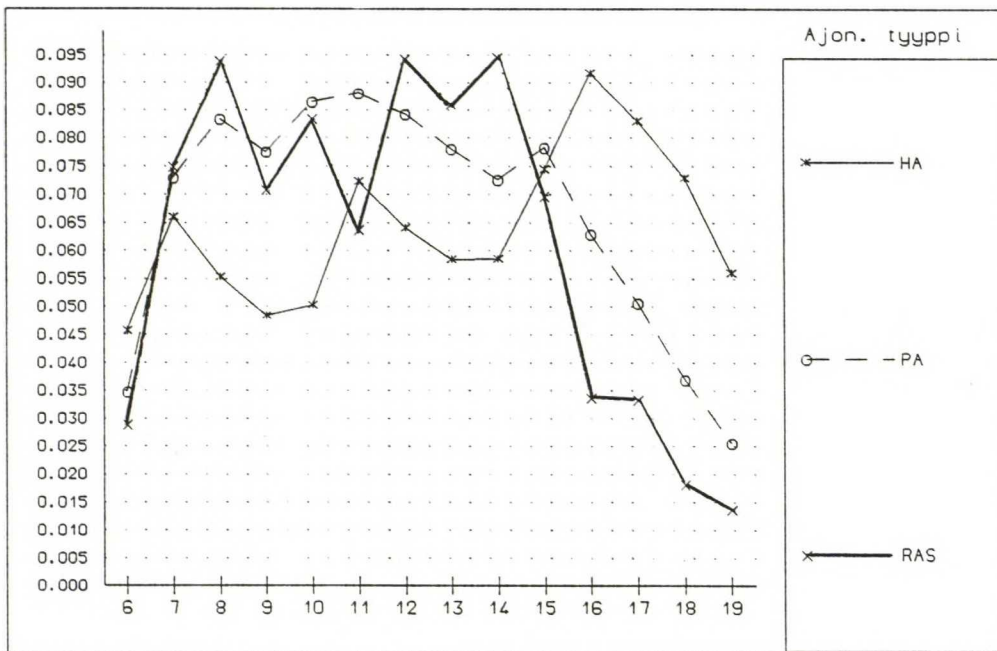
Kuvassa 9 on esitetty myös tuntivaihtelut alle 15000 asukkaan ja yli 15000 asukkaan kunnissa. Perusmuodoltaan käyrät ovat samantyyppisiä, mutta pienissä kunnissa aamuhuippu on selvästi alempana kuin suurissa kunnissa. Vastaavasti taas iltahuippu on pienissä kunnissa ylempänä kuin suurissa kunnissa.



Kuva 10. Eri matkaryhmien tuntivaihtelut.

Matkaryhmittäiset tuntivaihtelukäyrät on esitetty kuvassa 10. Työ- ja opiskelumatkoissa voimakkain huippu on aamulla. Asiointimatkoja tehdään pääosin päiväsaikaan klo 9-18. Hieman erottuvat huiput sijoittuvat lounasaikaan sekä klo 16-17. Kuljetusmatkat tehdään suurimmaksi osaksi työaikana eli klo 7-16. Vilkkaimmillaan ne ovat aamupäivällä. Muut matkat sisältävät lähinnä vapaa-ajan matkoja, mikä näkyy myös tuntivaihtelussa. Nämä matkat tehdään pääosin klo 16:n jälkeen huipun ollessa klo 18-19.

Kuvassa 11 on esitetty ajoneuvolajien tuntivaihtelut. Henkilöautojen tuntivaihtelu noudattelee koko aineiston tuntivaihtelukäyrää, mikä oli odotettavaa sillä 86.8 % aineiston matkoista on henkilöautomatkoja. Pakettiautojen ja raskaiden ajoneuvojen tuntivaihtelu olivat odotettuja. Kummatkin matkat ovat vilkkaimmillaan työaikana klo 7-16. Voimakkaasti erottuvaa huipputuntia ei ole kummallakaan ajoneuvotyypillä.



Kuva 11. Eri ajoneuvolajien tuntivaihtelut.

4. KUNNAN SISÄISEN LIIKENTEEN MALLINTAMINEN

4.1 Mallintamisen lähtökohdat

Tavoitteena on ollut tehdä helppokäyttöinen liikennevirtamallisto, jonka avulla voidaan arvioida kunnanosien välistä ajoneuvoliikennettä. Tämän vuoksi on pyritty siihen, että mallin muuttujat olisivat helposti saatavissa tai laskettavissa.

Tarkoituksena on siis ollut mallintaa kunnan osien välistä ajoneuvoliikennettä eli työssä on tutkittu vain yhtä kulkumuotoa. Tästä syystä mallityypin valinnassa päädyttiin suoraan kysyntämalliin.

Generointi-attrahoointiperiaatetta ei voitu käyttää, sillä havaintoaineistosta ei käy ilmi lähtö- tai määräpaikan laatu (koti, työ, muu).

Mallien perusmuuttujia ovat osa-alueiden asukas- ja työpaikkamäärät, näiden johdannaismuuttujat sekä alueiden välinen etäisyys. Muina muuttujina on kokeiltu myös kuntatason tietoja esim. henkilöautotiheyttä, työpaikkojen toimialajakaumaa, asukastiheyttä ym.

Osa-alueiden väliseen liikennevirtaan voi vaikuttaa myös alueiden työpaikkaomavaraisuuksien ero. Todennäköisesti osa-alueelta, jossa on vain asukkaita, syntyy enemmän matkoja alueille, jolla on vain työpaikkoja kuin alueille, joilla ei ole työpaikkoja.

Merkittävä tekijä kunnan sisäisessä liikenteessä lienee se, onko matkan lähtö- tai määräpaikka keskusta. Tätä on kuvattu dummy-muuttujilla siten, että osa-alueella, joka on kunnan keskustassa dummy-muuttujan arvo on 1. Muilla osa-alueilla muuttujan arvo on 0. Keskusta-alueeksi on tulkittu pienissä kunnissa keskustaaajama. Suuremmissa kunnissa, joissa keskustaaajaman raja ei ole niin selvä kuin pienemmissä kunnissa, on keskustaosa-alueiksi tulkittu alueet, jotka ovat kunnan keskustassa ja joissa

työpaikkoja on paljon suhteessa asukkaisiin ja palvelu-työpaikkojen osuus työpaikoista on suuri.

Vuorokausiliikenteen malleilla kuvataan osa-alueiden välistä kaksisuuntaista kokonaisliikennettä, koska vuorokausiliikenteen voidaan olettaa jakautuneen symmetrisesti. Huipputuntien mallit kuvaavat aamun ja illan huipputuntien yksisuuntaisia virtoja, koska niiden liikenne ei ole jakautunut symmetrisesti.

Vuorokausiliikenteelle tehtiin myös matkaryhmittäiset mallit, koska tällöin saatetaan yhdistämällä matkaryhmittäiset matkat päästä parempaan selittävyYTEEN myös kokonaisliikenteen osalta. Toisaalta nämä mallit antavat myös tietoa eri matkaryhmien ominaisuuksista.

Matkaryhmät jaettiin seuraavasti:

- työ- ja opiskelumatkat
- asiointimatkat
- kuljetusmatkat
- muut matkat (tarkoitusrYhmät vierailu, loma, muu)

Matkaryhmäjako ei ole aivan yksiselitteinen, sillä on saattanut syntyä epäselvyyttä siitä onko matka työmatka vai kuljetusmatka. Myös asiointimatkan käsite saatta olla epätarkka. Jatkossa käytetään työ- ja opiskelumatkoista yksinkertaisuuden vuoksi nimitystä työmatkat.

4.2 Aineisto

Liikennevirta-aineisto perustuu Tielaitoksen vuosina 1987-91 tekemiin määräpaikkatutkimuksiin. Tutkimukset on valittu siten, että tutkimuksen osa-aluejakoon on löytynyt kunnista tarvittavat maankäyttötiedot. Aineiston valintakriteereitä on selitetty tarkemmin kohdassa 1.3.

Haastattelupisteissä on tehty liikennelaskennat, joiden perusteella aineisto on laajennettu tekemällä sille suun-

nan otoskorjaus, KAVL-korjaus ja vuosikorjaus. Vuosikorjauksella on aineisto saatu vastaamaan vuoden 1989 arkivuorokauden keskimääräistä liikennettä. Käytetyissä tutkimuksissa otosprosentti vaihteli 52-97 %:iin keskiarvon ollessa 65 %.

Tutkimusaineistosta on tuotettu kaikkien matkojen KAVL-matriisi sekä ajoneuvolajeittain, tarkotusryhmittäin ja ruuhkatunneittain seulottuja matriiseja, joista on otettu tarkasteltaviksi vain ne osa-alueiden väliset virrat, jotka on voitu olettaa havaituiksi kokonaisuudessaan.

Osa-alueiden väliset etäisyydet on mitattu juoksupyörällä saatavilla olleista kartoista. Etäisyydet on mitattu osa-alueiden arvioitujen painopisteiden välille. Etäisyyttä on kuvattu myös matka-aikana, joka on arvioitu reitillä käytettyjen tie- tai katuosuuksien arvioitujen nopeuksien perusteella.

Kuntien osa-alueittaiset maankäyttötiedot on saatu kyseisen liikennetutkimuksen tekijältä tai asianomaisesta kunnasta. Kuntatason tiedot on saatu ALTIKA-tietokannasta sekä tilastollisesta vuosikirjasta.

Osa-alueiden maankäyttö- ja etäisyytiedot sekä kuntatason tiedot on liitetty vastaaviin liikennevirtahavaintoihin, ja tiedot on siirretty SURVO-tilastomatematiikkaohjelmistolle.

Suora kysyntämalli on muodoltaan tyyppiä $Y = a \cdot X_1^b \cdot X_2^c$, jota sellaisenaan ei voida käyttää lineaarisessa regressioanalyysissä. Malli on linearisoitava ja se tapahtuu seuraavasti: Otetaan yhtälöstä moleminpuoliset logaritmit, jolloin yhtälö on muotoa $\log Y = \log(a \cdot X_1^b \cdot X_2^c)$, joka voidaan kirjoittaa muotoon $\log Y = \log a + b \cdot \log X_1 + c \cdot \log X_2$. Tähän muotoon voidaan soveltaa lineaarista regressioanalyysiä.

Yhtälössä eksponentit kuvaavat muuttujien joustoja suhteessa mallinnettavaan liikennevirtaan. Jousto tarkoittaa

tarkasteltavan muuttujan ja matkojen lukumäärän suhteellisten muutosten suhdetta. Kysyntä on normaalijoustava, jos jousto on itseisarvoltaan 1 eli 1 %:n muutos muuttujassa, jonka jousto on 1 aiheuttaa matkojen lukumäärään 1 %:n muutoksen. Jos jousto on itseisarvoltaan alle yhden sanotaan kysynnän oleva alijoustava eli 1 %:n muutos muuttujassa, jonka jousto on esim. 0.5 aiheuttaa 0.5 %:n muutoksen matkojen määrässä. Vastaavasti, jos muuttujan jousto on itseisarvoltaan yli yhden aiheuttaa 1 %:n muutos muuttujassa yli 1 %:n muutoksen matkojen määrässä. Tässä tapauksessa kysyntä on ylijoustava. Mikäli muuttujan jousto on positiivinen aiheuttaa tällaisen muuttujan kasvu matkojen määrän kasvua. Vastaavasti jos muuttujan arvo pienenee niin matkojen määrä vähenee. Mikäli muuttujan jousto on negatiivinen käy päinvastoin kuin edellä eli muuttujan arvon kasvaessa matkojen määrä vähenee ja muuttujan arvon laskiessa matkojen määrä kasvaa.

4.3 Liikennevirtamallit

4.3.1 Yleistä

Malleissa on kokeiltu selittävinä muuttujina mm. seuraavankaltaisia logaritmimuunnoksia:

- osa-alueiden asukasmäärät
- osa-alueiden työpaikkamäärät
- osa-alueiden asukas- ja työpaikkamäärien summa
- paikan i asukasmäärän ja paikan j työpaikkamäärien tulo (+ päinvastoin KAVL-malleissa)
- etäisyystekijä: (d=etäisyys, a=estimoitava vakio, c=kokeilemalla haettava vakio)
 - d^{-a}
 - $(d+c)^{-a}$
 - e^{-a*d}
 - $e^{-a*(\ln(d/c))^2}$

- osa-alueiden asukkaiden osuus kunnan asukasmäärästä
- osa-alueiden työpaikkojen osuus kunnan työpaikoista
- osa-alueiden työpaikkaomavaraisuuksien erotuksen itseisarvo
- keskusta-dummy (1, jos osa-alue on keskustassa muuten 0)
- kunnan henkilöautotiheys
- erilaisia yhdistelmiä kunnan toimialaluokittaisista työpaikkamääristä

4.3.2 Vuorokausiliikenteen virrat

4.3.2.1 Kaikkien matkojen arkivuorokausiliikenne

Kaikkien matkojen nollasta poikkeavien liikennevirtavaintojen lukumäärä oli 349.

Mallin muodostamisessa lähdettiin liikkeelle yksinkertaisista osa-alueiden työpaikka- ja asukasmääristä muodostetuista malleista. Mallissa, jossa muuttujina oli alueparien asukasmäärien summa sekä alueparien työpaikkamäärien summa, saatiin logaritmoidun mallin selitysasteeksi 0.47. Tästä perusmallista voidaan joustoja eli eksponentteja vertaamalla havaita, että muutokset työpaikkamäärissä vaikuttavat voimakkaammin alueparin väliseen liikennevirtaan kuin muutokset asukasmäärissä. Mallit sekä niiden tilastolliset tunnusluvut on esitetty liitteessä 4.

Seuraavaksi malliin lisättiin osa-alueiden työpaikkaomavaraisuuksien erotuksen itseisarvo. Tämä muuttuja kuvaa osa-alueiden välistä "potentiaaaliero" eli osa-alue, jossa olisi vain asukkaita synnyttäisi matkoja alueelle, jossa olisi vain työpaikkoja. Koska on kyse kaksisuuntaisista liikennevirroista, on muuttujasta otettava itseisarvo. Muuttujan eksponentiksi estimoitiin arvo 0.155, mikä tarkoittaa sitä, että alueiden työpaikkaomavaraisuuksien kasvaessa myös matkojen määrä alueiden välillä kasvaa.

Malliin otettiin mukaan myös dummy-muuttuja, jonka arvo on yksi, jos toinen matkan päistä on keskustaosa-alue, muuten muuttujan arvo on 0. Tilannetta, jossa matkan molemmat päät olisivat keskustassa ei aineistossa ilmennyt. Kun vielä alueparien asukas- ja työpaikkamääristä muodostettiin yksi muuttuja siten, että osa-alueen asukas- ja työpaikkamäärät laskettiin yhteen ja tämä summa kerrottiin matkan toisen pään vastaavalla summalla, niin logaritmoidun mallin selitysasteeksi saatiin 0.59.

Paras malli saatiin lisäämällä edelliseen malliin vielä etäisyysstekijä. Etäisyysfunktioiksi kokeiltiin kohdassa 4.3.1 esitettyjä funktioita. Aineistoon parhaiten sopivaksi malliksi saatiin funktiotyyppi $e^{-a*(\ln(d/c))^2}$. Vakion c paras arvo löydettiin kokeilemalla.

$$(3) \quad T(KAVL)_{i-j} = 0.04342 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.506} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.130} \\ * e^{-0.072 * (\ln(d/2))^2 * 1.905^{DUMMY}}$$

$$R^2 = 0.61$$

jossa

$T(KAVL)_{i-j}$ = kaikkien ajoneuvojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä

AS = asukasmäärä

TP = työpaikkamäärä

d = alueiden välinen etäisyys (km)

DUMMY = 1, jos matkan toinen pää on kunnan keskustassa, muuten 0

Logaritmoidun mallin selitysasteeksi tuli 0.61. Mallin estimaatit ovat tilastollisilta tunnusluvuiltaan hyviä (liite 4). Etäisyysstekijän vaikutus malliin on käytetyistä muuttujista pienin. Etäisyysstekijän estimaatin tilastolliset tunnusluvut ovat myös joukon heikoimmat. Ilmei-

sesti etäisyys ei ole niin merkittävä tekijä kunnan sisäisessä autoliikenteessä kuin se on pitempimatkaisessa liikenteessä.

Aukas/työpaikkatekijän $((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))$ arvon vaihteluväli tutkimusaineistossa oli 19 458 - 82 529 016 keskiarvon ollessa 4 225 077. Vastaavasti työpaikkaomavaraisuuksien erotus -muuttujan vaihteluväli oli 0.000444 - 151.5694 ja keskiarvo 4.603871. Aineiston etäisyysjakauma on esitetty kohdassa 3.2. Pääosa matkoista oli 1 - 7 km:n pituisia.

Keskusta-dummin estimaatista voidaan päätellä, että mikäli matkan toinen pää on kunnan keskustassa on alueparien välinen liikennevirta lähes kaksinkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa kumpikaan osa-alue ei ole keskustassa.

4.3.2.2 Kevyiden ajoneuvojen arkivuorokausiliikenne

Kevyiksi ajoneuvoiksi on tässä luokiteltu henkilöautot sekä pakettiautot. Nollasta poikkeavien liikennevirtahavaintojen määrä tässä ryhmässä oli 345. Aineisto on siis lähes sama kuin kaikilla matkoilla. Kevyiden ajoneuvojen osuus kaikista matkoista onkin 95 %.

Tämän ajoneuvoryhmän mallit muodostettiin lähes analogisesti kaikkien matkojen mallien kanssa. Mallien sekä estimaattien tilastolliset tunnusluvut olivat kaikissa tapauksissa hiukan parempia kuin kaikkien matkojen malleissa (liite 4). Paras malli oli seuraava:

$$(4) \quad T(KAVL_k)_{i-j} = 0.03281 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.526} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.134} \\ * e^{-0.053 * (\ln(d/2))^2} * 1.906^{DUMMY}$$

$$R^2 = 0.62$$

jossa

$T(KAVL_k)_{i-j}$ = kevyiden ajoneuvojen kaksisuuntainen
keskimääräinen arkivuorokausiliikenne
alueiden i ja j välillä
AS = asukasmäärä
TP = työpaikkamäärä
d = alueiden välinen etäisyys (km)
DUMMY = 1, jos matkan toinen pää on kunnan
keskustassa, muuten 0

4.3.2.3 Raskaiden ajoneuvojen arkivuorokausiliikenne

Raskaisiin ajoneuvoihin on tässä aineistossa luettu kuorma-autot. Linja-autot on jätetty tutkimuksen ulkopuolelle, koska niistä on hyvin vähän havaintoja. Linja-autoliikenteen matkat syntyvät myös eri periaatteilla kuin mitä tässä mallityössä on käytetty.

Aineistossa oli nollasta poikkeavia raskaiden ajoneuvojen liikennevirtahavaintoja 116. Havaintoaineisto on suhteellisen pieni eikä käytettävissä olevilla muuuttujilla löydy selittäviä malleja raskaiden ajoneuvojen virroille. Raskaita ajoneuvoja käytetään melko vähän kuntien sisäisessä liikenteessä. Kuljetusmatkoistakin tehdään suurempi osa kevyillä ajoneuvoilla. Raskaiden ajoneuvojen rooli saattaa olla sisäisessä liikenteessä enemmän jakeluliikennetyyppinen, jolloin lähtö- ja määräpaikat saattavat olla käsitteinä epätarkkoja eikä niiden ominaisuuksia pystytä selittämään käytettävissä olleilla tekijöillä.

Parhaaksi malliksi saatiin:

$$(5) \quad T(KAVL_r)_{i-j} = 4.8089$$

$$*e^{0.00097*(MuTP_i + MuTP_j) + 0.000036*(AS_i + AS_j)}$$

$$R^2 = 0.16$$

jossa

$T(KAVL_r)_{i-j}$ = raskaiden ajoneuvojen kaksisuuntainen
keskimääräinen arkivuorokausiliikenne
alueiden i ja j välillä

MuTP = muut kuin palvelutyöpaikat

AS = asukasmäärä

e = Neperin luku

Mallin selittävyys (0.16) on kuitenkin niin pieni, että sen käyttö on hyvin kyseenalaista.

4.3.2.4 Työmatkat

Lähtöaineistossa työ- ja opiskelumatkat oli ryhmitelty samaan tarkoitusr ryhmään. Yksinkertaisuuden vuoksi nimeään ryhmä työmatkaryhmäksi. Työmatkojen nollasta poikkeavien virtahavaintojen määrä oli 318.

Kaksisuuntaisessa vuorokausiliikenteessä voidaan olettaa, että osa-alueiden väliset työmatkat riipuvat alueen i asukasmäärästä ja alueen j työpaikkamäärästä ja päinvastoin.

Mallityössä havaittiin, että muita selittäviä tekijöitä kuin asukas- ja työpaikkamääriä sekä näistä tehtyjä erilaisia kombinaatioita ei saatu tilastollisesti merkitseviksi. Poikkeuksen tästä tekee keskusta-dummy. Parhaaksi malliksi tuli seuraava:

$$(6) \quad T(KAVL_t)_{i-j} = 0.00789 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.552} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.128 * 1.731^{DUMMY}} \\ R^2 = 0.55$$

jossa

$T(KAVL_t)_{i-j}$ = työmatkojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä

AS = asukasmäärä

TP = työpaikkamäärä

DUMMY = 1, jos matkan toinen pää on kunnan keskustassa, muuten 0

Mallissa, jossa asukas- ja työpaikkamäärät olivat eri muuttujissa, havaittiin työpaikkatekijän ja työpaikkaomavaraisuustekijän välillä korrelaatiota. Tämä ongelma kuitenkin poistui kun asukas- ja työpaikkamäärät yhdistettiin samaan muuttujaan.

Etäisyystekijä ei ollut merkitsevä tekijä missään tämän matkaryhmän mallissa. Tästä voidaan päätellä, että etäisyydellä ei ole kunnan sisäisillä autoilla tehdyillä työmatkoilla suurta merkitystä.

Mallit sekä niiden tilastolliset tunnusluvut on esitetty liitteessä 4.

4.3.2.5 Asiointimatkat

Matkaryhmän nollasta poikkeavien liikennevirtahavaintojen lukumäärä oli 287.

Asiointimatkat suuntautuvat työpaikkoihin, erityisesti palvelutyöpaikkoihin. Sisäisessä liikenteessä voidaan olettaa, että asiointimatkoja generoivat asukkaiden lisäksi myös työpaikat.

Paras malli oli seuraavanlainen:

$$(7) \quad T(KAVL_a)_{i-j} = 0.08475 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.422} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.114} \\ * e^{-0.165 * (\ln(d/4))^2 * 1.701^{DUMMY}} \\ * ((PATP_i + PATP_j) / PATP_{kunta})^{0.242}$$

$$R^2 = 0.54$$

jossa

$T(KAVL_a)_{i-j}$	= asiointimatkojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä
AS	= asukasmäärä
TP	= työpaikkamäärä
d	= alueiden välinen etäisyys (km)
DUMMY	= 1, jos matkan toinen pää on kunnan keskustassa, muuten 0
PATP	= palvelutyöpaikkojen määrä

Palvelutyöpaikkatekijä ja keskusta-dummy selittänevät jossain määrin samaa asiaa, sillä kunnan palvelutyöpaikat sijaitsevat usein kunnan keskustassa. Muuttujien keskinäinen korrelaatio oli 0.62. Mallin selittävyys oli kuitenkin parempi kun molemmat tekijät olivat mukana mallissa.

Palvelutyöpaikkatekijän arvojen vaihteluväli aineistossa oli 0.005711 - 0.819372 ja keskiarvo 0.21.

4.3.2.6 Kuljetusmatkat

Kunnan sisäisessä liikenteessä raskaiden ajoneuvojen osuus kuljetusmatkoista oli n. 40 %, joten lyhytmatkai-

sesta kuljetusliikenteestä suuri osa tehdään kevyillä ajoneuvoilla. Nollasta poikkeavien liikennevirtahavaintojen määrä tässä matkaryhmässä oli 198.

Kuljetusmatkojen voisi olettaa liittyvän molemmista päistään työpaikkoihin. Kuitenkaan pelkästään työpaikkamääristä muodostetut mallit eivät selittäneet havaintoja. Tässä matkaryhmässä kuten raskaiden ajoneuvojen malleisakin voidaan havaita, että käytössä olevilla selittävillä tekijöillä ei pystytty mallintamaan näitä virtoja hyvin. Todennäköisesti tarkemmat tiedot osa-alueiden työpaikkajakaumasta parantaisivat malleja huomattavasti. Tällöin voitaisiin tarkemmin selvittää minkälaiset työpaikat aiheuttavat kuljetusliikennettä.

Parhaaksi malliksi kuljetusmatkoille tästä lähtöaineistosta saatiin:

$$(8) \quad T(KAVL_{ku})_{i-j} = 0.3623 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.214} \\ * e^{-0.192 * (\ln(d/4.7))^2 * 1.938^{DUMMY}}$$

$$R^2 = 0.34$$

jossa

$T(KAVL_{ku})_{i-j}$ = kuljetusmatkojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä

AS = asukasmäärä

TP = työpaikkamäärä

d = alueiden välinen etäisyys (km)

DUMMY = 1, jos matkan toinen pää on kunnan keskustassa, muuten 0

Mallin logaritmisuuden muodon selityssasteeksi tuli 0.34, jota ei voida pitää kovin hyvänä.

4.3.2.7 Muut matkat

Muihin matkoihin on tässä ryhmitelty matkat, jotka kuuluvat tarkoituseryhmään vierailu, loma tai muu. Voidaan olettaa, että suurin osa ryhmän matkoista on vapaa-ajan matkoja. Nollasta poikkeavien liikennevirtahavaintojen määrä tässä ryhmässä oli 220.

Tämän matkaryhmän matkojen määrään voi olettaa osa-alueiden asukasmäärien vaikuttavan voimakkaimmin. Myös työpaikkamäärät lienee syytä ottaa mukaan malliin.

Päämalliksi saatiin seuraava malli:

$$(9) \quad T(KAVL_m)_{i-j} = 0.00278 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.590}$$

$$R^2 = 0.50$$

jossa

$T(KAVL_m)_{i-j}$ = muiden matkojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä
AS = asukasmäärä
TP = työpaikkamäärä

Malliin kokeiltiin erilaisia osa-alueita ja kuntaa kuvaavia muuttujia, mutta mikään ei parantanut merkittävästi edellä olevaa mallia. Mallin logaritmissen muodon selityssasteeksi tuli 0.50.

4.3.3 Huipputuntien liikennevirrat

4.3.3.1 Aamuhuippu

Aamuhuipputunnin (tasatunti 7-8) liikennevirtamallit perustuvat 186 nollasta poikkeavaan virtahavaintoon.

Lähtöoletuksena aamuhuippuliikenteessä voidaan pitää sitä, että pääosa matkoista tehdään kotoa töihin. Myös työpaikkojen voi olettaa generoivan jonkin verran matkoja aamuhuipputunnin aikana. Kuitenkaan malli, jossa oli muuttujina lähtöpaikan asukkaat ja työpaikat sekä määräpaikan työpaikat, ei selittänyt hyvin havaintoja. Myös lähtöpaikan asukas- ja työpaikkamuuttajat korreloivat keskenään. Malli paranee hieman kun asukas- ja työpaikkamäärät yhdistetään samaan muuttujaan ja samalla lisätään työpaikkaomavaraisuuksien erotuksen itseisarvo. Muuttujasta on otettava itseisarvo, koska regressioanalyysi on tehtävä logaritmoidulle mallille eikä negatiivisesta luvusta voi ottaa logaritmia.

Paras malli saadaan, kun siihen lisätään vielä määräalueen keskusta-dummy, joka saa arvon 1, kun määräalue on kunnan keskustassa, muuten sen arvo on 0.

$$(10) \quad T(AHT)_{ij} = 0.01762 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.363} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.157} * 1.659^{DUMMY} \\ R^2 = 0.44$$

jossa

$T(AHT)_{ij}$ = kaikkien matkojen yksisuuntainen aamuhuippu-
putuntiliikenne alueelta i alueelle j
AS = asukasmäärä
TP = työpaikkamäärä
DUMMY = 1, jos määräalue on kunnan keskustassa,
muuten 0

Mallin logaritmisien muodon selitysasteeksi tuli 0.44.

4.3.3.2 Iltahuippu

Iltahuipputunnin (tasatunti 16-17) mallit perustuvat 158 nollasta poikkeavaan liikennevirtahavaintoon.

Lähtöoletuksena iltahuippuliikenteessä voidaan pitää sitä, että liikenne suuntautuu pääosin työpaikoilta koteihin. Iltahuippuliikenne sisältää kuitenkin runsaasti myös asiointimatkoja.

Mallille, jossa on muuttujina lähtöalueen ja määräalueen työpaikat sekä määräalueen asukkaat, tulee melko hyvät tilastolliset tunnusluvut (liite 4). Merkittävin muuttuja on selvästi lähtöalueen työpaikkamäärä.

Malli parani hieman, kun siihen lisättiin etäisyystekijä, mutta kun mallia kehitettiin eteenpäin, havaittiin, ettei etäisyys ollut enää tilastollisesti merkitsevä tekijä.

Parhaaksi malliksi saatiin:

$$(11) \quad T(IHT)_{ij} = 0.00729 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.450} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.127} * 1.597^{DUMMY} \\ R^2 = 0.53$$

jossa

$T(IHT)_{ij}$ = kaikkien matkojen yksisuuntainen iltahuippu-
putuntiliikenne alueelta i alueelle j
AS = asukasmäärä
TP = työpaikkamäärä
DUMMY = 1, jos lähtöalue on kunnan keskustassa,
muuten 0

Malli on rakenteeltaan samanlainen kuin aamuhuipputunnin malli. Tilastolliset tunnusluvut ovat selvästi paremmat iltahuipputunnin mallissa (liite 4). Asukas- ja työpaikkatekijän jousto on iltahuipun mallissa hieman voimakkaampi kuin aamuhuipun mallissa. Toisaalta muutokset alueiden työpaikkaomavaraisuuksien eroissa vaikuttavat voimakkaammin aamuhuipputuntimallissa.

4.4 Mallien testaus

Mallintamisen lähtöolettamuksiin kuuluu, että mallin lineaarisen muodon residuaalit ovat jakautuneet normaalisti. Tätä on testattu D'Agostinin testisuureella Y , joka normaalisuushypoteesin toteutuessa saa arvon väliltä $-2.391 < Y < 1.496$ (Conover 1971). Kaikki päämallit toteuttavat tämän ehdon.

Mallien hyvyyttä kuvaa mallin logaritmisien muodon selityssaste (R^2) sekä mallien antamien arvojen ja havaittujen virtojen välinen korrelaatiokerroin (r). Nämä tunnusluvut on esitetty taulukossa 2.

Mallien hyvyyttä kuvaa myös logaritmoidusta mallista laskettu residuaalivirheen keskihajonta ($S(v)$), jonka antama kuva saattaa poiketa selityssasteen ja korrelaatiokertoimen antamasta kuvasta. Huipputuntien malleissa selityssasteet ja korrelaatiokertoimet olivat hieman huonompia kuin vuorokausiliikenteen malleissa lukuunottamatta raskaiden sekä kuljetusmatkojen malleja, mutta virheillä oli pienempi hajonta.

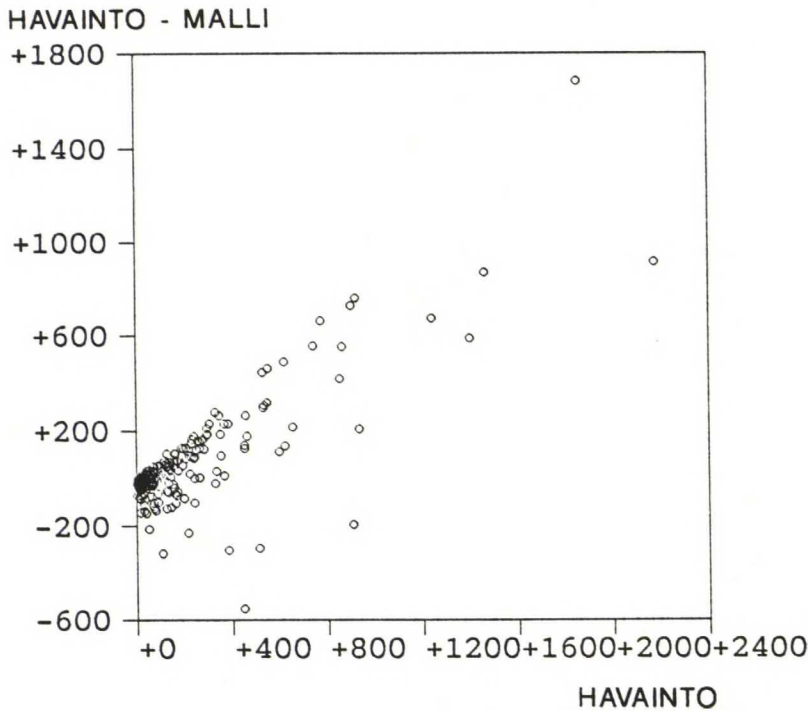
Malleille on laskettu ala- ja ylärajan kertoimet tietyllä riskitasolla. Taulukossa 2 on esitetty kertoimet, joilla havainto on yhden hajonnan mitan (n. 68 % todennäköisyydellä) etäisyydellä odotusarvosta. Mallin linearisoidussa muodossa virheen keskihajonta esiintyy seuraavasti:

$\log Y = \log a + b \cdot \log X_1 + c \cdot \log X_2 + S$. Kun malli ratkaistaan saadaan $Y = a \cdot X_1^b \cdot X_2^c \cdot e^{\pm S}$, kun logaritmit ovat luonnollisia. Ala- ja ylärajan kertoimet saadaan $e^{\pm S}$ -tekijästä purkamalla siten, että jos esim. $S = 0.9$ niin alarajan kerroin on $e^{-0.9} = 0.41$ ja ylärajan kerroin on $e^{0.9} = 2.46$.

Taulukko 2. Päämallien tilastolliset tunnusluvut

MALLI	R^2 log. muodon selit. aste	r ha- vain- non ja mallin korr. kerr.	S(v) log. muodon virheen keski- hajonta	$P_{68\%}$ luotetta- vuus väli	Y normaa- lisuus- testin testi suure
(3) KAIKKI	0.61	0.72	0.872	0.42-2.39	0.38
(4) KEVYET	0.62	0.74	0.871	0.42-2.39	0.04
(5) RASKAAT	0.16	0.24	1.069	0.34-2.91	-1.08
(6) TYÖ	0.55	0.73	0.930	0.39-2.53	-0.60
(7) ASIA	0.54	0.70	0.969	0.38-2.64	0.08
(8) KULJETUS	0.34	0.65	0.881	0.41-2.41	0.31
(9) MUUT	0.50	0.72	0.847	0.42-2.33	1.48
(10) AHT	0.44	0.63	0.762	0.47-2.14	-2.03
(11) IHT	0.53	0.69	0.802	0.45-2.23	-0.75

Malleista on tehty myös residuaalikuvia sekä mallin logaritmisessa muodossa, että eksponenttimuodossa. Päämallien residuaalit on esitetty liitteessä 5. Kuvioista voi havaita, että mallien residuaaleilla on selvää positiivista korrelaatioita suhteessa havaintoon eli havainnon ollessa pieni malli antaa suurempia arvoja ja vastaavasti havainnon ollessa suuri malli antaa pienempiä arvoja. Kuvassa 12 on esitetty kaikkien matkojen vuorokausiliikenteen residuaalikuviot, jossa pystyakselilla on havainnoista vähennetty mallin antama arvo ja vaakakselilla on havainto.



Kuva 12. Vuorokausiliikenteen mallin residuaalien hajonta.

Tätä systemaattista virhettä korjattiin siten, että residuaalipisteistöihin sovitettiin lineaarisella regressioanalyysillä suorat. Estimoitava suora oli seuraava:

$$(12) \quad \text{Havainto-Malli} = k \cdot \text{Havainto} + A.$$

Suoran tulisi olla sellainen, että se kulkee origon kautta ja on vaakasuora. Tästä syystä regressioanalyysissä vakio A oli pakotettava nolllaksi ja estimoitavaksi jäi kerroin k. Kun yhtälöstä ratkaistaan havainto saadaan:

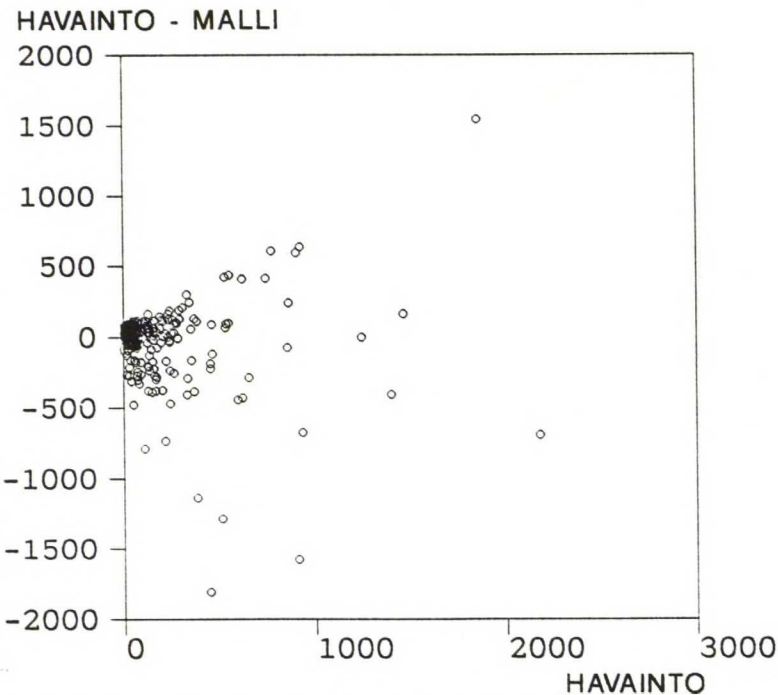
$$(13) \quad \text{Havainto} = 1/(1-k) \cdot \text{Malli}.$$

Malleille saadaan siis korjauskertoimet kaavasta $1/(1-k)$. Näin lasketut päämallien korjauskertoimet ovat:

- KAVL(kaikki) (3)	2.034
- KAVL(kevyet) (4)	1.919
- KAVL(raskaat) (5)	5.828
- KAVL(työ) (6)	2.390
- KAVL(asia) (7)	2.606
- KAVL(kuljetus) (8)	3.430
- KAVL(muut) (9)	2.223
- AHT (10)	3.102
- IHT (11)	2.598.

Korjatut päämallit on esitetty taulukossa 3. Taulukossa on esitetty myös mallien antamien tulosten ja havaintojen väliset selityssasteet.

Kuvassa 13 on esitetty kaikkien matkojen korjatun mallin residuaalikuviokuva suhteessa havaintoihin.



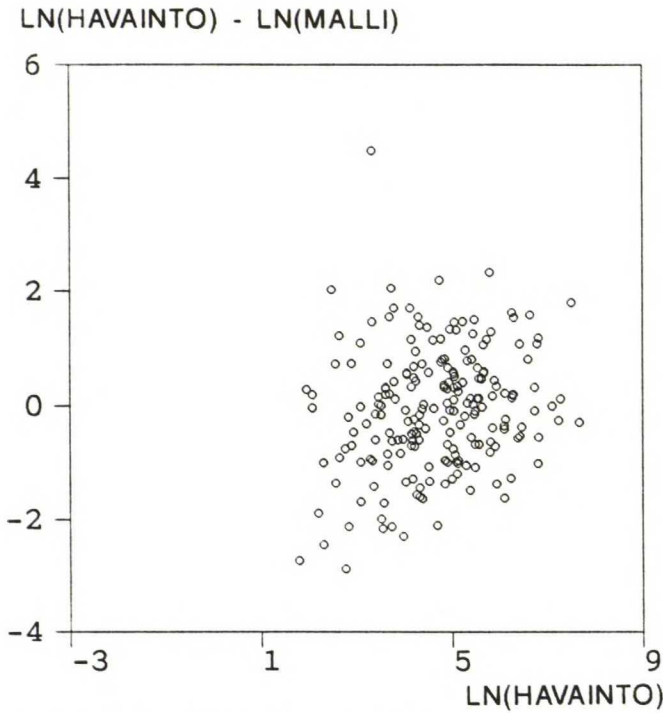
Kuva 13. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin residuaalien hajonta.

Kuvassa 14 on vastaavasti esitetty edelliset arvot logaritmoidussa muodossa. Kuvioista nähdään, että systemaattinen virhe on hävinnyt.

(14) $T(KAVL)_{i-j} = 0.08832 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.506} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.130} * e^{-0.072 * (\ln(d/2))^2} * 1.905^{DUMMY}$	$r^2 = 0.52$
(15) $T(KAVL_k)_{i-j} = 0.06296 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.526} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.134} * e^{-0.053 * (\ln(d))^2} * 1.906^{DUMMY}$	$r^2 = 0.55$
(16) $T(KAVL_r)_{i-j} = 28.026 * e^{0.00097 * (MUTP_i + MUTP_j) + 0.000036 * (AS_i + AS_j)}$	$r^2 = 0.06$
(17) $T(KAVL_l)_{i-j} = 0.01886 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.552} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.128} * 1.731^{DUMMY}$	$r^2 = 0.53$
(18) $T(KAVL_a)_{i-j} = 0.2209 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.422} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.114} * e^{-0.165 * (\ln(d/4))^2} * 1.701^{DUMMY} * ((PATP_i + PATP_j) / PATP_{kunta})^{0.242}$	$r^2 = 0.50$
(19) $T(KAVL_{ku})_{i-j} = 1.242 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.214} * e^{-0.192 * (\ln(d/4.7))^2} * 1.938^{DUMMY}$	$r^2 = 0.43$
(20) $T(KAVL_m)_{i-j} = 0.00722 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.590}$	$r^2 = 0.52$
(21) $T(AHT)_{ij} = 0.05466 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.363} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.157} * 1.659^{DUMMY_a}$	$r^2 = 0.40$
(22) $T(IHT)_{ij} = 0.01894 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.450} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.127} * 1.597^{DUMMY_i}$	$r^2 = 0.48$

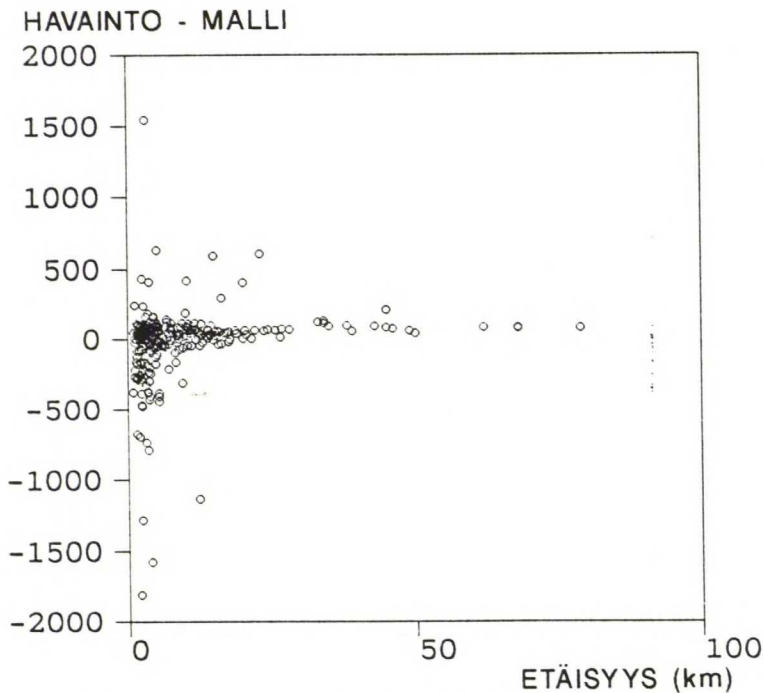
Merkinnät:

$T(KAVL_x)_{i-j}$	= Ajoneuvotyyppin tai matkaryhmän x kaksisuuntainen liikennevirta alueiden i ja j välillä
AS	= Asukasmäärä
TP	= Työpaikkamäärä
d	= Alueiden i ja j välinen etäisyys (km)
DUMMY	= Keskusta-dummy
MUTP	= Muut kuin palvelutyöpaikat
PATP	= Palvelutyöpaikat



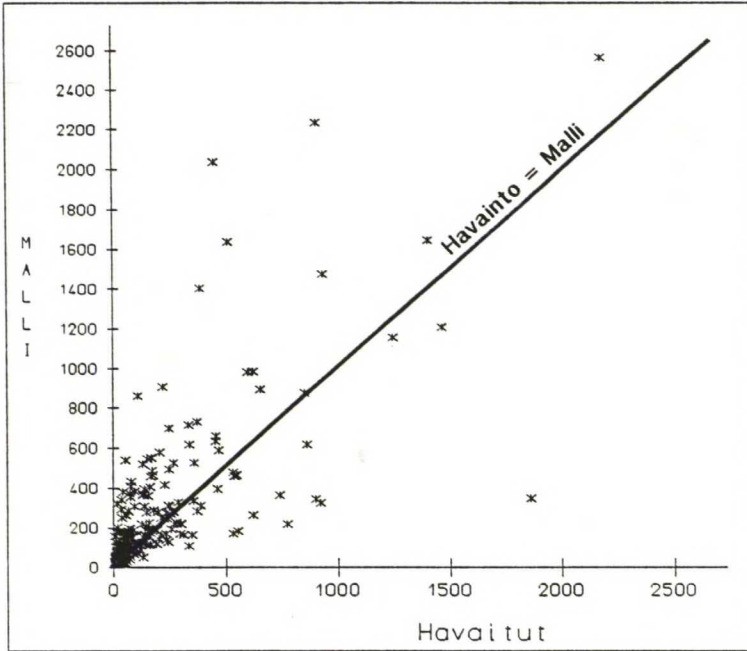
Kuva 14. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin logaritmisien muodon residuaalit.

Korjattujen päämallien residuaalit on esitetty liitteessä 6. Pystysuorat kuviot logaritmisissa residuaalikuviissa syntyvät virroista, joissa havaintona on ollut 1 - 6 ajo-neuvoa. Näitä virtoja on esiintynyt runsaasti varsinkin huipputuntien malleissa.



Kuva 15. Kaikkien matkojen korjatun mallin residuaali suhteessa etäisyyteen.

Kaikkien matkojen vuorokausiliikenteestä tutkittiin residuaaliku vioita suhteessa etäisyyteen. Kuvassa 15 on vaakakselilla etäisyys (km) ja pystyakselilla havainnon ja mallilla lasketun arvon erotus. Kuvasta voidaan päätellä, että malli käyttäytyy etäisyyden suhteen järkevästi.



Kuva 16. Vuorokausiliikenteen korjatun mallin osuvuus.

Kuvassa 16 on esitetty kaikkien matkojen vuorokausiliikenteen mallin osuvuus havaintoihin. Kuvassa yksi piste poikkeaa selvästi muista. Piste on kuvan oikeassa alareunassa eli havainto on ollut suuri ja mallin anatama tulos selvästi pienempi. Tämä havainto on tehty Kokemäen määräpaikkatutkimuksessa ja siinä oli havaittu 1850 ajoneuvoa. Havainto on selvästi virheellinen sillä tutkimuksessa havaittu kunnan sisäinen liikenne oli 5867 ajoneuvoa, jolloin tämä virtä olisi kolmasosa havaitusta sisäisestä liikenteestä. Kaikki mallit muodostettiin uudestaan, kun tämä havainto oli poistettu, mutta tämä ei vaikuttanut mallien estimaatteihin. Voidaan siis todeta, että mallit eivät ole herkkiä yksittäisille poikkeaville havainnoille. Tämän aiheuttaa se, että mallit on estimoitu logarismissa muodossa, jolloin suuret erot tasoittuvat.

Kaikkien matkojen vuorokausiliikenteen korjattua mallia päätettiin kokeilla johonkin kuntaan. Kunnan tuli olla sellainen, josta oli saatavilla mallin vaatimien lähtötietojen lisäksi liikennetutkimukseen perustuva nykytilan ennuste. Tästä ennusteesta oli voitava seuloa kunnan sisäinen liikennevirtamatriisi, jota oli mahdollista verrata malleilla laskettuun liikennevirtamatriisiin. Kohteeksi valittiin Joensuu, josta edellä mainitut tiedot olivat saatavilla. Mallilla siis laskettiin Joensuun sisäiset liikennevirrat vuonna 1988 ja näin saatua matriisia verrattiin Joensuun liikennetutkimuksesta (1988) saatuun matriisiin, josta on seulottu pois alkavat ja päättyvät sekä läpikulkevat matkat. Nämä molemmat ennusteet sijoitettiin EMME/2-ohjelmistolla Joensuun katuverkolle. Kuvassa 17 on esitetty näistä sijoittelusta erotuskuva, jossa mallilla lasketusta ennusteesta on vähennetty liikennetutkimuksen ennuste. Erotus on esitetty suhteellisenä eli kuvassa näkyvät luvut ovat prosentteja. Linkeillä positiivinen ero näkyy tummana ja negatiivinen vaalealla värillä.



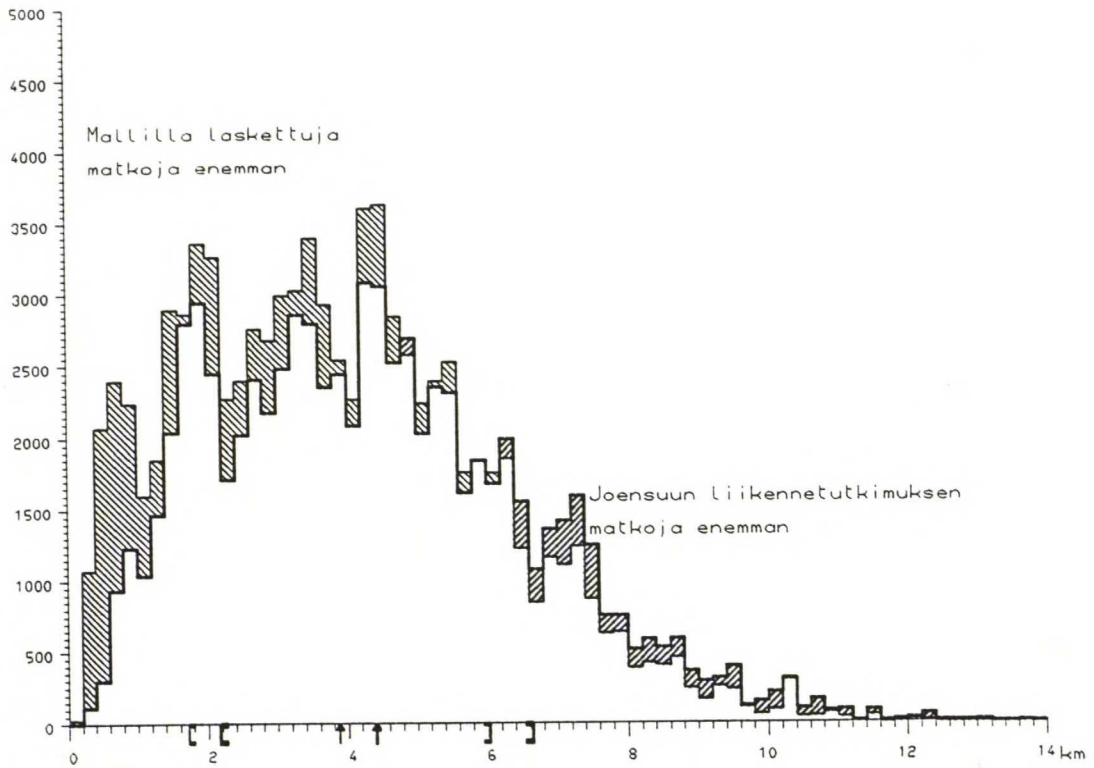
Kuva 17. Joensuun liikennetutkimuksen ja korjatulla mallilla lasketun ennusteen vertailu.

Liikennetutkimuksessa virrat, joita ei ole havaittu on laskettu Voorhees-mallilla. Kuvasta nähdään, että korjattulla mallilla laskettun ennusteen ja liikennetutkimuksen ennusteen erot verkolla eivät näytä kovin systemaattisilta eivätkä kovin suurilta. Suurimmat poikkeamat näkyvät kaupungin koillisosassa, jossa on suurehko asuinalue (11 200 asukasta). Mallilla laskettu tuotos asukasta kohhti oli tällä alueella 1.1 automatkaa vuorokaudessa ja liikennetutkimuksen ennusteessa 0.7. Kokonaismatkamäärät ennusteissa olivat seuraavat:

Joensuun liikennetutkimus	111961
Malli	122458

Osa-alueiden tuotosten erot suhteessa liikennetutkimuksen ennusteeseen vaihtelivat -74.5 - +73.3 %:iin. Nämä suurimmat tuotoserot esiintyivät kohteissa, joissa kokonaismatkamäärät eivät olleet suuria. Suhteellisten erojen painotettu keskiarvo oli 9.4 %. Tuotosten erot ovat jakautuneet kokonaisuudessaan melko tasaisesti osa-alueille. Erotuskuvassa suhteelliset erot ovat suurimmat kaupungin laidoilla. Kuitenkin absoluuttiset erot näillä alueilla ovat pieniä, sillä sisäisten virtojen liikennemäärät ovat pieniä laita-alueilla. Liitteessä 7 on esitetty sijoittelukuvat kummallakin ennusteella sekä kuva absoluuttisista eroista.

Ennusteista tulostettiin myös matkojen etäisyysjakaumat, jotka on esitetty kuvassa 18. Erot näkyvät siten, että vinoviivoitus on oikealle alaspäin kun mallilla laskettu ja matkoja on enemmän ja oikealle ylöspäin kun liikennetutkimuksen matkoja on enemmän.



Kuva 18. Ennustettujen matkojen etäisyysjakaumat.

Jakaumat ovat muodoltaan järkeviä. Selvästi on kuitenkin nähtävissä, että lyhyitä matkoja on mallilla lasketussa ennusteessa enemmän kuin liikennetutkimuksen ennusteessa ja pitempiä matkoja taas vähemmän. Suurimmillaan ero on alle kilometrin pituisissa matkoissa, jotka ovat pääasiassa keskustaosa-alueiden välisiä matkoja. Havaintoaineistossa ei ollut lainkaan tällaisia matkoja. Tämä selittää eron lyhyimmillä matkoilla. Mallin etäisyysfunktio ei selvästikään ole ollut oikea tähän kohteeseen. On mahdollista, että esim. kuntien koolla olisi vaikutusta etäisyysfunktion muotoon. Jakaumista nähdään myös mallilla lasketun ennusteen kokonaismatkamäärän ero liikennetutkimuksen ennusteeseen.

5. TUTKIMUSTULOSTEN ARVIOINTI

5.1 Mallien vertailu

5.1.1 Vuorokausiliikenteen mallit

Vuorokausitasolla pyrittiin muodostamaan mallit kaikille matkoille, erikseen kevyille ja raskaille ajoneuviolle sekä matkaryhmittäin erikseen työ-, asiointi-, kuljetus- ja muille matkoille.

Tilastollisten tunnuslukujen valossa parhaiksi malleiksi tuli kaikkien matkojen malli sekä kevyiden ajoneuvojen malli. Nämä mallit ovat hyvin samanlaisia keskenään, mikä ei ole yllättävää sillä aineistosta 95 % oli kevyiden ajoneuvojen matkoja. Mallien selittävässä muuttujissa tekijöinä on vain osa-alueita koskevia tietoja. Minkäänlaisia kuntatason tietoja ei saatu tilastollisesti merkitseviksi tekijöiksi. Tätä voi ennako-odotusten perusteella pitää jonkinlaisena pettymyksenä, sillä olisi voinut odottaa, että jotkin kunnan ominaisuudet olisivat vaikuttaneet sisäisen liikenteen malleihin.

Kevyiden ajoneuvojen ja kaikkien matkojen malleissa merkittävin muuttuja on asukas- ja työpaikkamuuttuja, jossa osa-alueen asukkaat ja työpaikat on laskettu yhteen ja tämä summa on kerrottu matkan toisen pään vastaavalla summalla. Muuttujaan kokeiltiin myös muita näistä tekijöistä muodostettuja kombinaatioita, mutta edellä mainittu osoittautui parhaaksi. Keskusta-dummy osoittautui myös hyvin merkitseväksi muuttujaksi. Muuttujan merkitys mallissa on suuri, sillä se, että osa-alue on keskusta aiheuttaa sinne tai sieltä suuntautuvien matkojen kaksinkertaistumisen.

Raskaille ajoneuvoille ei tässä mallityössä onnistuttu muodostamaan käyttökelpoisia malleja. Raskaiden ajoneuvojen liikennevirtahavaintoja oli suhteellisen vähän. Kun vielä kokonaismatkamäärästä vain 5 % oli tehty raskailla

ajoneuvoilla, oli aineisto hyvän mallin aikaansaamisesksi ehkä liian pieni. Toisaalta on todettava, että koska osa-alueista ei ollut saatavilla muita tietoja kuin asukasmäärät, työpaikkamäärät jaettuna palvelu- ja muihin työpaikkoihin, onko osa-alue keskusta vai ei ja osa-alueiden välinen etäisyys, ei ole todennäköistä, että näillä lähtötiedoilla voi syntyä hyviä malleja raskaille ajoneuvoille. Mikäli osa-alueiden työpaikoista olisi ollut saatavilla tarkempia tietoja toimialajakaumista, mallit olisivat varmasti parempia. Tämä tietysti koskee myös muita malleja.

Raskaiden ajoneuvojen liikennevirtojen selittämiseksi kehitettiin myös menetelmää, jossa kaikkien matkojen mallin antamasta tuloksesta vähennettiin kevyiden ajoneuvojen mallin antama tulos, mutta tämäkään menetelmä ei selittänyt havaintoja. Tätä vertailua pystyttiin tekemään vain vertailemalla residuaalien (havainto - malli) hajontoja, joka oli hieman suurempi viimeksimainitulla menetelmällä.

Matkaryhmittäiset mallit mudostettiin kahdesta syystä. Arveltiin, että olisi mahdollista päästä parempaan selittävyYTEEN kokonaisliikenteen osalta kun matkaryhmittäisten mallien antamat tulokset yhdistetään. Toisaalta matkaryhmittäisten mallien avulla voidaan tutkia sisäisen liikenteen ominaisuuksia.

Vertailtaessa matkaryhmittäisten mallien ensimmäisen vaiheen malleja (liite 4) voidaan todeta, että työmatkoilla asukasmäärien jousto on käytännössä sama kuin työpaikkamäärien jousto. Asiointimatkoilla muutokset työpaikkamäärissä vaikuttavat enemmän matkamääriin kuin muutokset asukasmäärissä eli työpaikkojen jousto on suurempi kuin asukkaiden. Muilla matkoilla muuttujien suhteet ovat päinvastoin kuin asiointimatkoilla eli asukasmäärien jousto on suurempi kuin työpaikkojen. Muut matkat ovat suurimmaksi osaksi vapaa-ajan matkoja, joten on luonnollista, että merkittävin muuttuja tässä matkaryhmässä on

asukasmäärä. Asiointimatkat suuntautuvat yleensä palvelutyöpaikkoihin, joten on luonnollista, että työpaikkojen jousto on voimakas asiointiliikenteessä.

Työmatkojen päämalli noudattelee periaatteiltaan kaikkien matkojen mallia. Asukas- ja työpaikkatekijän jousto on hieman suurempi työmatkojen mallissa. Keskusta-dummin estimaatti on selvästi pienempi kuin kaikkien matkojen mallissa eli keskusta ei ole niin voimakas tekijä työmatkoilla kuin kaikilla matkoilla yhteensä. Työmatkoilla etäisyystekijä ei tullut missään mallintamisen vaiheessa merkitseväksi tekijäksi. Tästä voi päätellä, että kun asuinpaikka ja työpaikka ovat samassa kunnassa ei asuin- tai työpaikan valintaan enää vaikuta näiden keskinäinen etäisyys. Vastaavasti työajan matkoilla ei etäisyydellä liene suurta merkitystä sisäisessä liikenteessä.

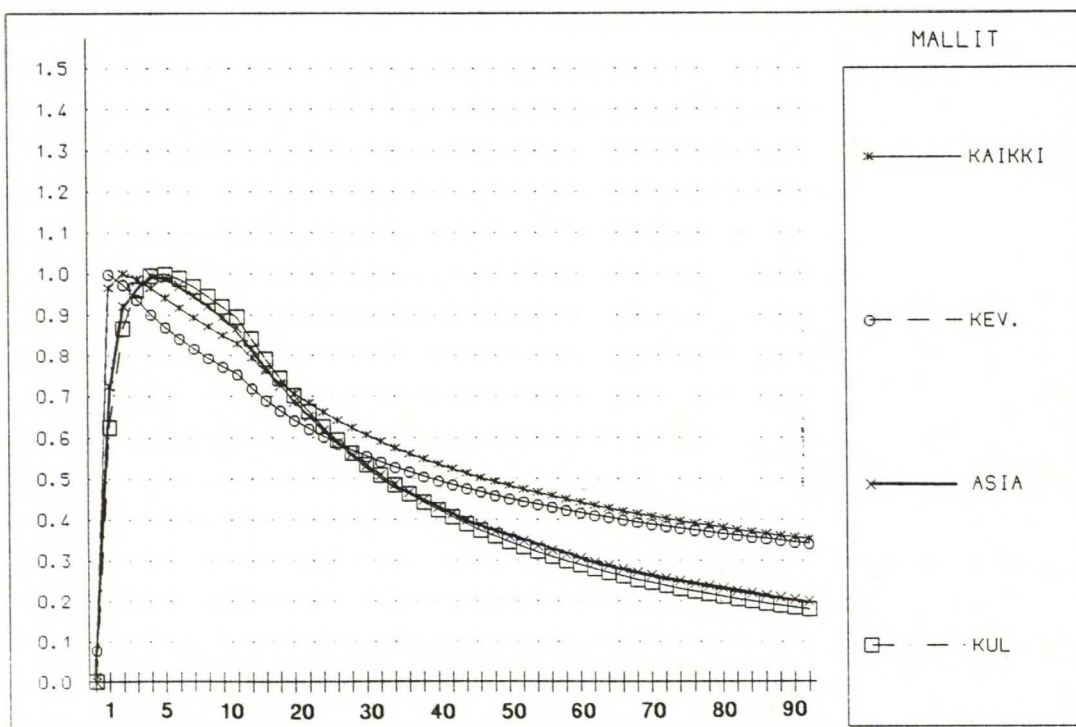
Asiointimatkojen päämalli oli ainoa, jossa kuntatason tekijä tuli tilastollisesti merkitseväksi. Muuttuja, jossa ilmenee kuntatason tekijä on ns. palvelutyöpaikkamuuttuja, jossa alueparin palvelutyöpaikkojen määrää verrataan koko kunnan palvelutyöpaikkoihin. Muuttujan jousto on positiivinen eli osa-alueiden palvelutyöpaikkojen määrän kasvaessa asiointimatkojen määrä kasvaa. Kuten kohdassa 4.3.2.5 todettiin keskusta-dummy ja palvelutasotekijä selittävät samaa asiaa sillä suuri osa kuntien palvelutyöpaikoista sijaitsee kunnan keskustassa. Muuttujien keskinäinen korrelaatio oli 0.62. Liittessä 4 olevasta asiointimatkojen mallista 2 nähdään, että jos mallissa ei ole mukana palvelutasotekijää on dummyn estimaatti 2.16 kun se on päämallissa 1.701 eli sen vaikutus malliin pienenee selvästi.

Kuljetusmatkoilla on havaittavissa vastaavia ongelmia kuin raskaiden ajoneuvojen mallilla eli mallien selitysteet eivät nouse riittävän hyviksi. Kuljetusmatkojen mallit ovat kuitenkin parempia kuin raskaiden ajoneuvojen mallit, mikä johtunee suuremmasta havaintomäärästä. Havaintomäärän ero johtuu siitä, että sisäisessä liikenteessä

teessä n. 60 % kuljetusmatkoista tehdään kevyillä ajoneuvoilla. Aivan kuten raskaiden ajoneuvojen mallin kohdalla voidaan tässäkin todeta, että käytettävissä olleet tiedot osa-alueista eivät selvästikään olleet riittävät selittämään kuljetusmatkoja.

Muiden matkojen mallista tuli kaikkein yksinkertaisin. Päämallin ainoaksi muuttujaksi tuli asukas- ja työpaikkamuuttuja. Muuttujan jousto oli suurempi kuin muissa malleissa vastaavalla muuttujalla.

Etäisyysfunktiot, joita malleissa on käytetty olivat sellaisia, joissa funktion arvo alle kilometrin matkoilla lähestyy nollaa. Suurimmat arvot saavutetaan 2-3 kilometrin kohdalla, jonka jälkeen ne kääntyvät loivaan laskuun. Funktioiden muodoista nähdään, että etäisyysfunktioiden merkitys alueella, jolla suurin osa aineistin matkoista on (1 - 7 km), ei ole suuri. Käytetyt etäisyysfunktio on esitetty kuvassa 18.



Kuva 19. Käytetyt etäisyysfunktio.

Kun sitten verrattiin kaikkien matkojen mallin antamia arvoja matkaryhmittäin yhteenlaskettuihin arvoihin niin

havaittiin ettei tuloksilla ole eroa. Vertailu tehtiin siten, että malleilla laskettuja arvoja verrattiin havaintoihin ja näiden residuaalien keskihajontoja verrattiin toisiinsa. Eli matkaryhmittäin ei näillä malleilla pystytty selittämään kokonaisliikenteen havaintoja paremmin kuin kaikkien matkojen mallilla.

Malleja yritettiin muodostaa myös erikseen erikokoisille kunnille. Tulokset eivät kuitenkaan parantuneet edellä muodostetuista malleista. Ongelmallista tässä oli myös se, että havaintomäärät vähenivät mitä pienempiin kokoluokkiin mentiin, jolloin satunnaisvaihteluille tuli suuri merkitys.

Kunnan keskustaan suuntautuvan liikenteen voi olettaa olevan erityyppistä kuin muun sisäisen liikenteen. Tätä keskustaliikenteen poikkeavuutta on kuvattu, kuten aikaisemmin on mainittu, keskusta-dummylla. Toinen tapa käsitellä tätä problematiikkaa on muodostaa eri mallit keskustaan suuntautuvalla liikenteelle ja muulle liikenteelle. Selittävyydeltään parempia malleja ei näin saatu aikaan. Parhaimissa tapauksissakin selitysaste jäi kymmenen prosenttiyksikköä heikommaksi kuin esitetyillä parhailla malleilla. Syynä tähän lienee sama kuin erikokoisille kunnille tehdyissä malleissa eli havaintomäärien laskiessa satunnaisvaihteluiden merkitys kasvaa. Vertahtaessa näiden mallien muuttujien estimaatteja havaittiin, että muuttujien merkitykset olivat lähes samoja. Ainoa selvä ero oli etäisyystekijöiden estimaateissa niillä malleilla, joissa oli etäisyystekijä. Keskustaan suuntautuvissa malleissa etäisyystekijä menetti merkityksensä kun taas muilla matkoilla etäisyystekijän merkitys kasvoi suuremmaksi kuin kaikkien matkojen malleilla. Nämä erot olivat vain vuorokausiliikenteen malleilla.

5.1.2 Huipputuntien mallit

Huipputuntien mallit mallintavat yksisuuntaisia liikennevirtoja kaikille matkoille aamu- ja iltahuipputunnin aikana.

Aamuhuipputunnin mallit eivät nousseet kovin hyviksi tunnuslukujen valossa. Ensimmäisen vaiheen (liite 4) mallissa ilmeni lähtöpaikan asukasmäärien ja työpaikkamäärien välillä vahvaa keskinäistä korrelaatiota, joten nämä muuttujat yhdistettiin samaan muuttujaan. Aamuhuipun aikana alkavat työpaikat generoida esim. kuljetusmatkoja. Samoin, jos perheessä on useampi työssäkäyvä saatetaan työmatkat tehdä samalla autolla, jolloin työpaikat generoivat matkoja. Tästä syystä lähtöpaikan työpaikat saattavat olla merkittävä tekijä myös aamuhuippuliikenteessä.

Työpaikkaomavaraisuustekijä esiintyi aamuhuipun malleissa vahvempana tekijänä kuin missään muissa malleissa eli muutokset alueparien omavaraisuuksien eroissa vakuttavat suhteessa eniten aamuhuipun virtoihin.

Aamuhuipputunnin päämallin logaritmisien muodon selityssasteeksi saatiin 0.44. Sitä ei voida pitää kovin hyvänä selittävyysnä. Parempaa tulosta ei saatu aikaan vaikka malleja koetettiin muodostaa myös kuntien koon mukaan.

Iltahuipputunnin mallit olivat selvästi tunnusluviltaan parempia kuin aamuhuipun mallit. Merkittävin yksittäinen tekijä iltahuippuliikenteessä on lähtöpaikan työpaikat. Sen jousto on selvästi suurin vaiheen 1 mallissa (liite 4).

Iltahuipun päämallissa ei etäisyystekijä ollut enää merkitsevä. Parhaan mallin muuttujiksi saatiin asukas- ja työpaikkatekijä, työpaikkaomavaraisuustekijä ja lähtöpaikan keskusta-dummy. Muuttujat ovat vastaavat kuin aamuhuipun päämallissa.

5.2 Mallien käyttö

Mallit ovat suoria kysyntämalleja, joissa ei ole mukana tuotostekijöitä. Näin ollen, kun malleilla lasketaan kunnan sisäisen liikenteen ennustetta, ei osa-alueiden tuotoksilla ole minkäänlaisia rajoitteita. Laskettaessa osa-alueelle päättymiä virtoja on mahdollista, että näillä malleilla laskettaessa alueen tuotos muodostuu epärealistiseksi. Tämän vuoksi tuotoksia tulisi tarkastella esim. tuotosmallien avulla. Suoralla kysyntämallilla laskettu liikennevirtamatriisi voidaan tasapainottaa mm. Fratar-menetelmällä tuotoksiltaan realistiseksi. Mikäli käytettävissä on hyviä tuotostalleja voidaan suoria kysyntämalleja käyttää myös pelkkien suuntautumisosuuksien laskentaan. Tällöin on arvioitava osa-alueiden sisäiset liikenteet erikseen, sillä nämä mallit jakavat liikenteen osa-alueiden välisiksi virroiksi eikä sisäistä liikennettä synny.

Malleja testattaessa havaittiin, että niillä on liikennettä kasvattava vaikutus kun aluejakoa tihennetään. Oletetaan, että kahden osa-alueen välille on malleilla laskettu liikennevirta. Nyt, jos toinen alueista jaetaan kahtia ja lasketaan uudet virrat malleilla saadaan kaksi virtaa. Malleilla on sellainen ominaisuus, että näiden kahden virran summa on suurempi kuin ennen jakoa laskettu virta. Tämä ilmiö aiheutuu asukas/työpaikkamuuttujan joustosta. Mikäli jouston arvo olisi 1 muutokset asukas- ja työpaikkamäärissä aiheuttaisivat lineaarisen muutoksen matkojen määrissä. Nyt, kun jouston arvo on n. 0.5, muutosten vaikutus ei ole lineaarinen vaan matkojen määrä muuttuu hitaammin suhteessa asukas- ja työpaikkamäärien muutokseen. Tällöin, kun osa-alue jaetaan kahtia, asukas- ja työpaikkamäärät uusilla osa-alueilla ovat pienempiä kuin alkuperäisellä osa-alueella. Muuttujan jouston ollessa alle yhden on uusien alueiden tuotos suurempi kuin alkuperäisen alueen. Vertailtaessa havaintoja ja mallien

antamia tuloksia havaittiin, että parhaita tuloksia saatiin kun osa-alueiden koko asukas- ja työpaikkamäärät yhteenlaskien oli 300 - 2000.

Havaintoaineistossa kuntien koot vaihtelivat 5000 - 47000 asukkaaseen. Mallien käyttö suuremmilla kaupunkialueilla esim. pääkaupunkiseudella on kyseenalaista.

Kunnan keskustassa sijaitsevien osa-alueiden välisestä liikenteestä ei ollut aineistossa havaintoja. Mallien sopevuudesta kahden keskustaosa-alueen välisen liikennevirran laskemiseen ei siis ole mitään tietoa.

Mallit on tehty vastaamaan vuoden 1989 liikennetietoja. Käytettäessä malleja toisen ajankohdan tilanteessa on syytä käyttää autotiheyden ja keskimääräisen ajosuorituksen muutoksen mukaisia kertoimia.

6. YHTEENVETO

Työn tarkoituksena on ollut mallintaa kuntien sisäistä liikennettä ja tutkia sen ominaisuuksia. Tutkimusaineistona on ollut Tielaitoksen vuosina 1987 - 91 tienvarsihaastatteluina tekemät määräpaikkatutkimukset, joista on valittu 16 kunnassa tehdyt tutkimukset. Näistä tutkimuksista otettiin aineistoon 49 haastattelupisteestä yhteensä 349 liikennevirtaa. Ongelmana oli se, että sisäisen liikenteen osuus haastatteluissa ei ollut kattava vaan oli tyydyttävä otantaan kustakin tutkimuksesta.

Työssä muodostettiin suoria kysyntämalleja kuvaamaan kuntien sisäisiä liikennevirtoja. Vuorokausiliikenteelle tehtiin mallit kaikille matkoille, erikseen eri ajoneuvotyypeille (kevyet, raskaat) sekä eri matkaryhmille (työ, asia, kuljetus, muut). Huipputunneille tehtiin mallit kaikille matkoille.

Työssä tutkittiin myös kuntien sisäisen liikenteen ominaisuuksia, kuten ajoneuvokoostumuksia, matkatyyppijakaumia ja matkojen tuntivaihteluita.

Työssä on myös lyhyesti selostettu suorien kysyntämallien yleisiä ominaisuuksia.

Tutkimusaineiston liikenteen ajoneuvokoostumus huipputuntien aikana ja koko haastatteluaikana oli seuraava:

	7-8	16-17	6-20
HA	86 %	92 %	87 %
PA	9 %	5 %	9 %
RAS	5 %	3 %	4 %.

Vastaava liikenteen matkatyyppikoostumus oli seuraava:

	7-8	16-17	6-20
TYÖ	78 %	39 %	39 %
ASIA	12 %	39 %	37 %
KULJETUS	7 %	4 %	7 %
MUU	3 %	18 %	17 %.

Ajoneuvolajien matkatyyppikoostumus kuntien sisäisessä liikenteessä oli seuraava:

	HA	PA	RAS
TYÖ	40 %	44 %	24 %
ASIA	39 %	34 %	13 %
KULJETUS	3 %	15 %	60 %
MUU	18 %	7 %	3 %.

Vastaavasti matkatyyppien ajoneuvokoostumukset olivat seuraavat:

	TYÖ	ASIA	KULJETUS	MUU
HA	87 %	90 %	39 %	96 %
PA	10 %	8 %	20 %	3 %
RAS	3 %	2 %	41 %	1 %.

Sisäisessä liikenteessä aamuhuippu on klo 7 - 8 ja sen osuus vuorokausiliikenteestä on n. 6 %. Keskipäivähuippu on hieman voimakkaampi kuin aamuhuippu ja sen osuus vuorokausiliikenteestä on n. 7 %. Iltahuippu on selvästi voimakkain osuuden ollessa n. 8 %. Työmatkoilla voimakkain huippu on aamulla klo 7 - 8. Asiointimatkoja tehdään pääosin päiväsaikaan klo 9 - 18. Kuljetusmatkat tehdään suurimmaksi osaksi työaikana eli klo 7 - 16. Muut matkat ovat pääasiassa vapaa-ajan matkoja. Tästä syystä muiden matkojen huippu sijoittuu klo 16:n jälkeen. Ajoneuvolajeista henkilöautojen tuntivaihtelukäyrä on lähes sama kuin kaikkien matkojen käyrä. Pakettiautoilla sekä raskailla ajoneuvoilla ei ole havaittavissa selvää huippua.

Pääosa aineiston matkoista oli 1 - 7 km: pituisia. Yli 40 km pitkiä matkoja aineistossa oli 1.6 %.

Malleissa on muuttujina mm. osa-alueiden asukas- ja työpaikkamäärät, osa-alueiden työpaikkaomavaraisuuksien erotus sekä niiden välinen etäisyys.

Ensimmäisen mallivaiheen residuaaleissa oli selvää systemaattista virhettä, joka aiheutti sen, että malli antoi liian pieniä arvoja kun havainto oli suuri ja havainnon ollessa pieni malli antoi liian suuria arvoja. Tämä aiheutti sen, että malleille oli estimoitava korjauskertoimet.

Korjatuiksi päämalleiksi saatiin:

$$T(KAVL)_{i-j} = 0.08832 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.506} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.130} \\ * e^{-0.072 * (\ln(d/2))^2 * 1.905^{DUMMY}}$$

$$T(AHT)_{ij} = 0.05466 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.363} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.157} * 1.659^{DUMMY_a}$$

$$T(IHT)_{ij} = 0.01894 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.450} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.127} * 1.597^{DUMMY_i}.$$

Malleissa

$T(KAVL)_{i-j}$ = kaikkien ajoneuvojen kaksisuuntainen keskimääräinen arkivuorokausiliikenne alueiden i ja j välillä

$T(AHT)_{ij}$ = kaikkien ajoneuvojen yksisuuntainen aamuhuipputuntiliikenne alueelta i alueelle j

$T(IHT)_{ij}$ = kaikkien ajoneuvojen yksisuuntainen iltahuipputuntiliikenne alueelta i alueelle j

AS = osa-alueen asukasmäärä

TP = osa-alueen työpaikkamäärä

e = Neperin luku

d = osa-alueiden välinen etäisyys

DUMMY = dummy-muuttuja, jonka arvo on 1, jos matkan toinen pää on kunnan keskustassa, muuten 0
DUMMY_a = dummy-muuttuja, jonka arvo on 1, jos matkan määräalue on kunnan keskustassa, muuten 0
DUMMY_i = dummy-muuttuja, jonka arvo on 1, jos matkan lähtöalue on kunnan keskustassa, muuten 0.

Lopullisten mallien logaritmistien muotojen selityssasteet (R^2), virheen keskihajonnat ($S(v)$) sekä mallien antamien tulosten ja havaintojen valinen korrelaatio (r) olivat seuraavat:

	R^2	$S(v)$	r
KAVL	0.61	0.872	0.72
AHT	0.44	0.762	0.63
IHT	0.53	0.802	0.69.

Nollasta poikkeavien liikennevirathavaintojen määrää vaihteli eri malleilla välillä 116 - 349.

Vuorokausiliikenteen kaikkien matkojen mallia kokeltiin Joensuun kaupunkiin, josta oli saatavilla vertailumateriaalia. Vertailussa havaittiin, että mallit antavat suuruusluokaltaan kohtuullisia tuloksia. Keskustaosa-alueiden välisiä matkoja ei mallit testin mukaan pysty ennustamaan oikein. Vertailussa todettiin myös se, että sopivimmat osa-alueiden koot vaihtelivat asukas- ja työpaikkamäärät yhteenlaskien 300 - 2000.

Malleissa ei ole tuotostekijöitä. Näin ollen käytettäessä näitä malleja on mahdollista, ettei tuotoksista tule aina järkeviä. Tämän vuoksi tuotoksia olisi hyvä tarkastella tuotosmallien avulla.

LÄHDELUETTELO

Conover J (1971). Practical Nonparametric Statistics. John Wiley & Sons Ltd.

Laaksonen R (1977). Uudet liikenne-ennustemenetelmät. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Otaniemi. 96 s.

Ortuzar J, Willumsen L (1990). Modelling Transport. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 375 s.

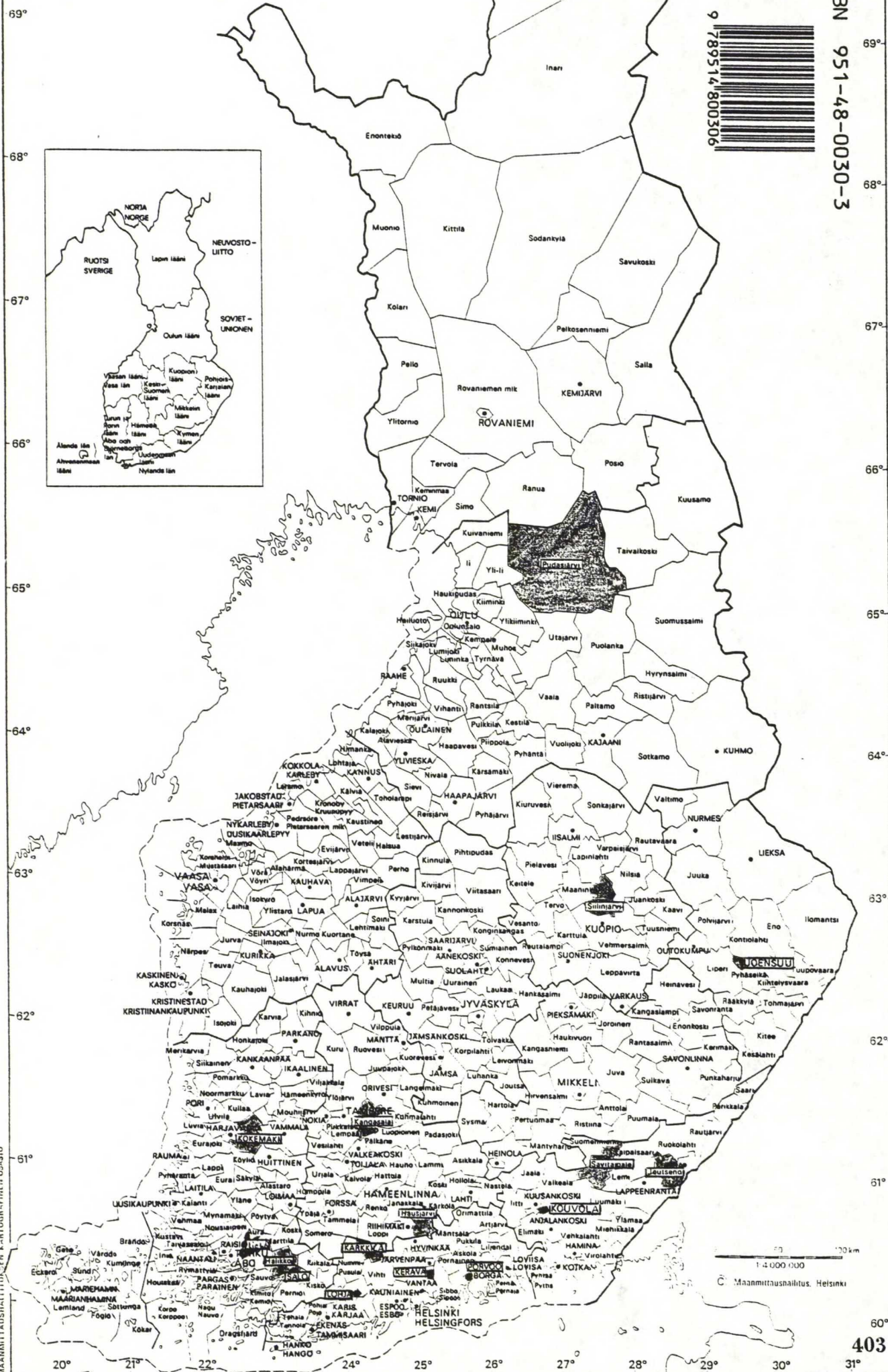
Tiehallitus (1990). Tarkkaileva liikennelaskenta 1984-1989. Tutkimuskeskus. TIEL 703418. Helsinki. 145 s.

Tie- ja vesirakennushallitus (1982). Maantieliikenteen vaihtelumuodot 1981. Talousosasto, tutkimustoimisto. Helsinki. 142 s.

Zaidi M, Talvitie A (1973). Methods of Aggregate Travel Demand Analysis and Forecasting. Urban Mass Transportation Administration of the Department of Transportation, Norman, Oklaholma. 139 s.

LIITE 1

Haastattelukuntien sijainti

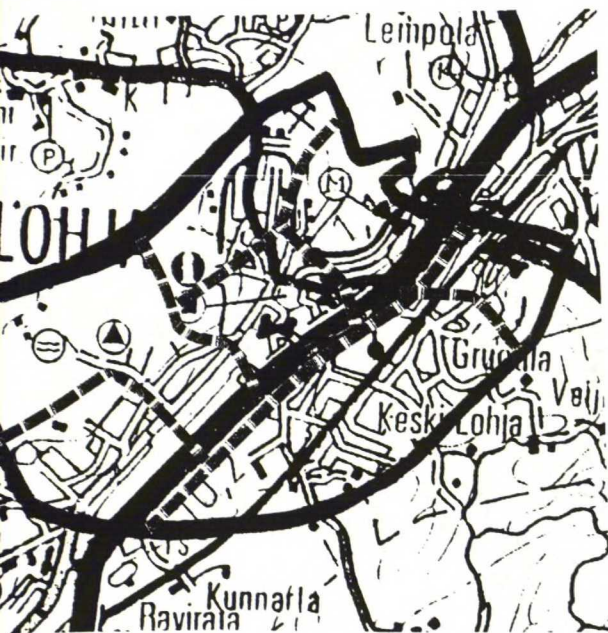


LIITE 2

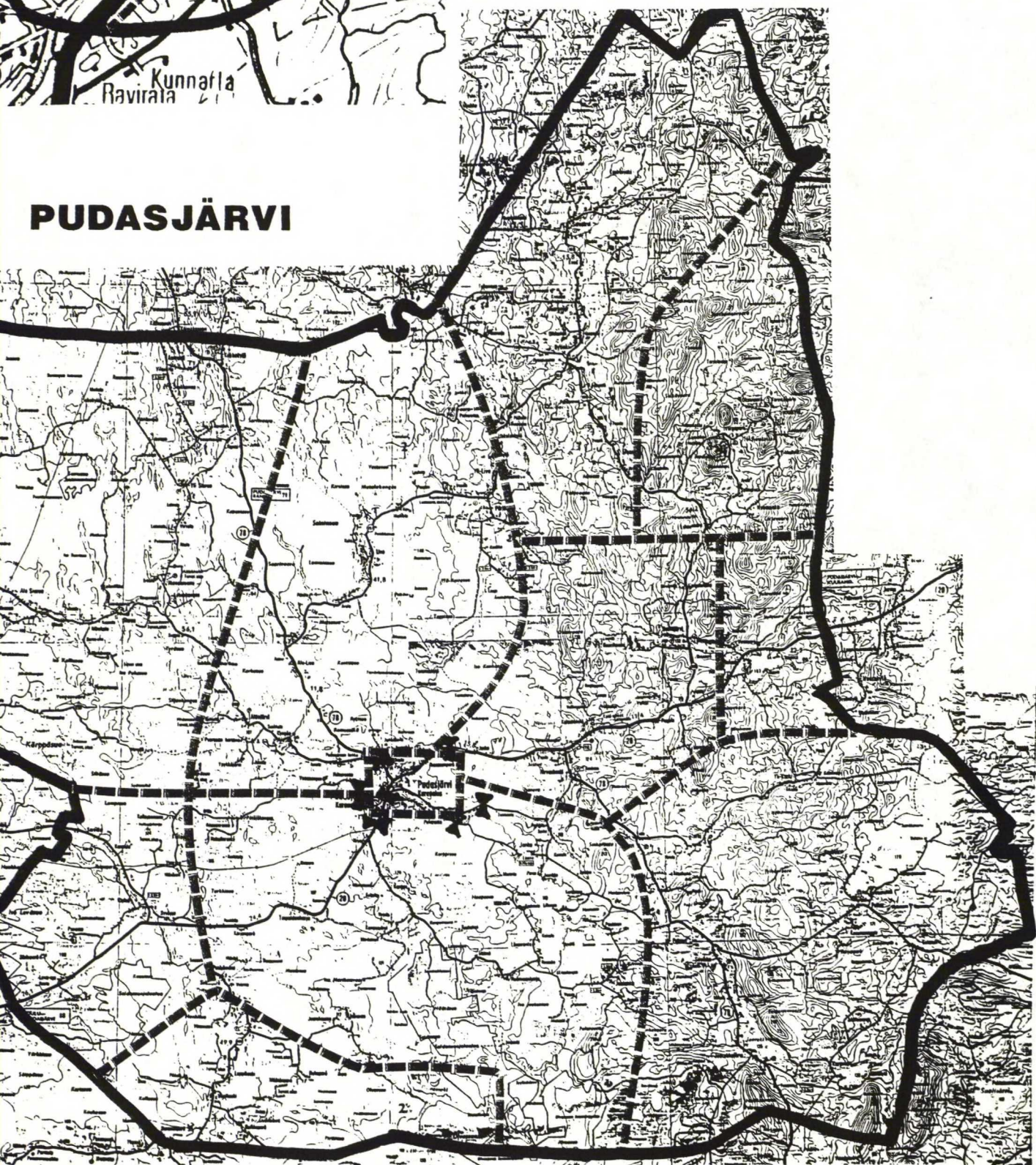
Tutkimuskuntien osa-aluejako ja haastattelupisteet

[illegible]

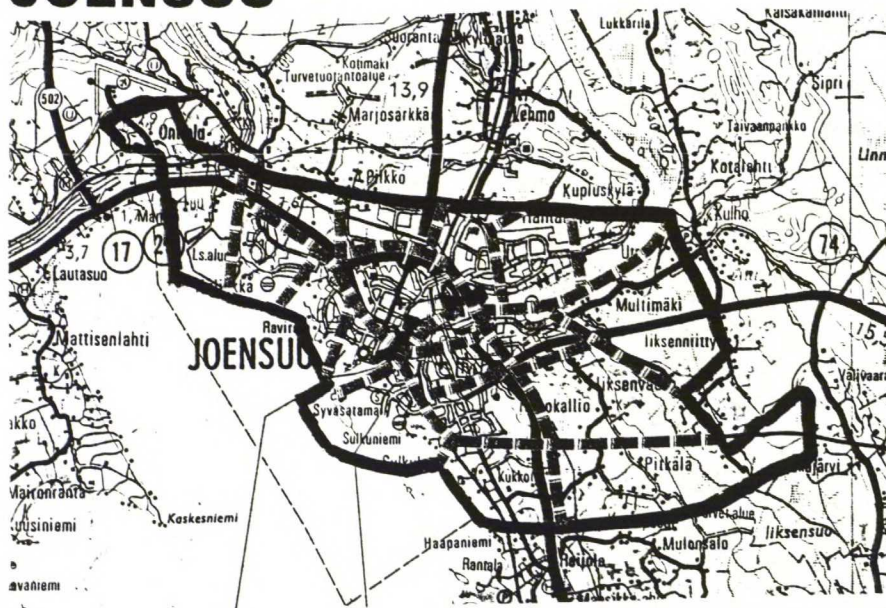
HJA



PUDASJÄRVI



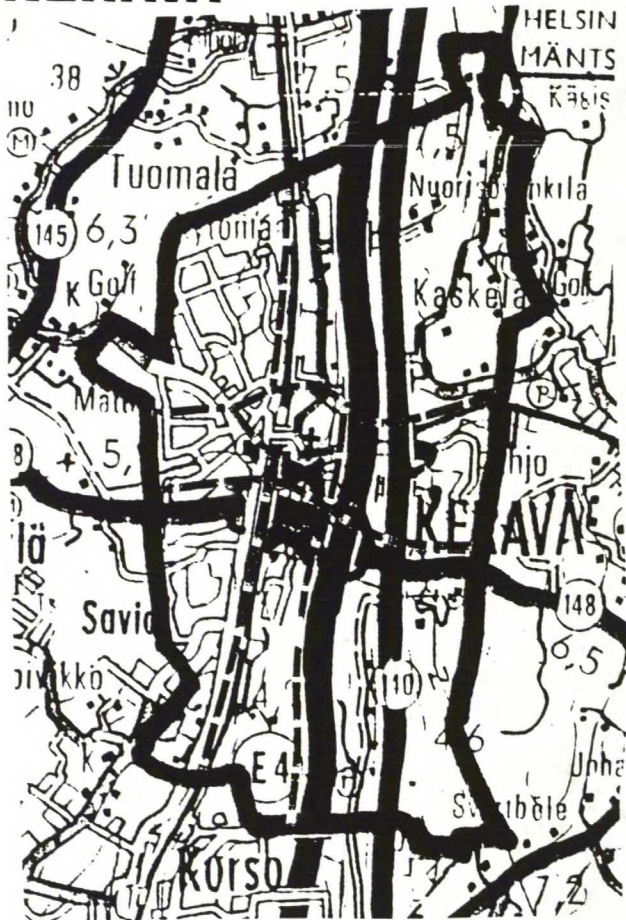
JOENSUU



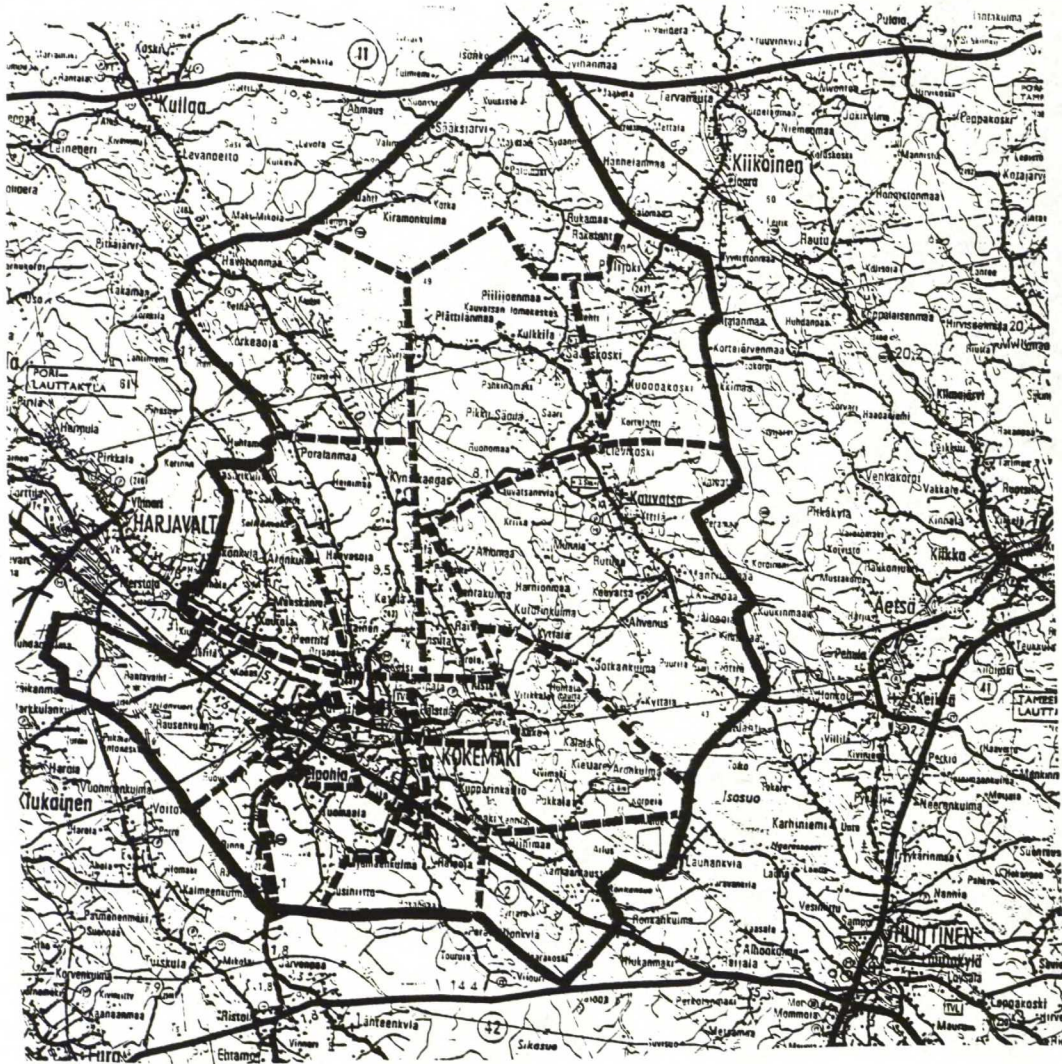
SIILINJÄRVI



KERAVALA



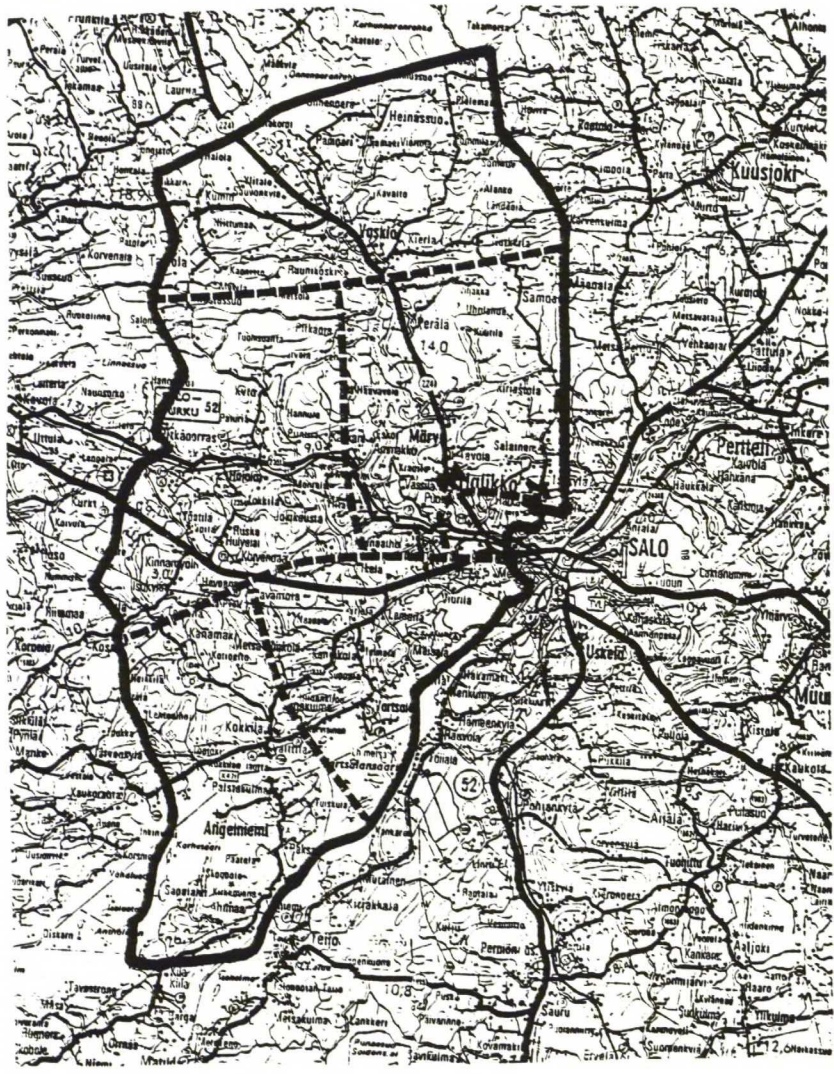
KOKEMÄKI



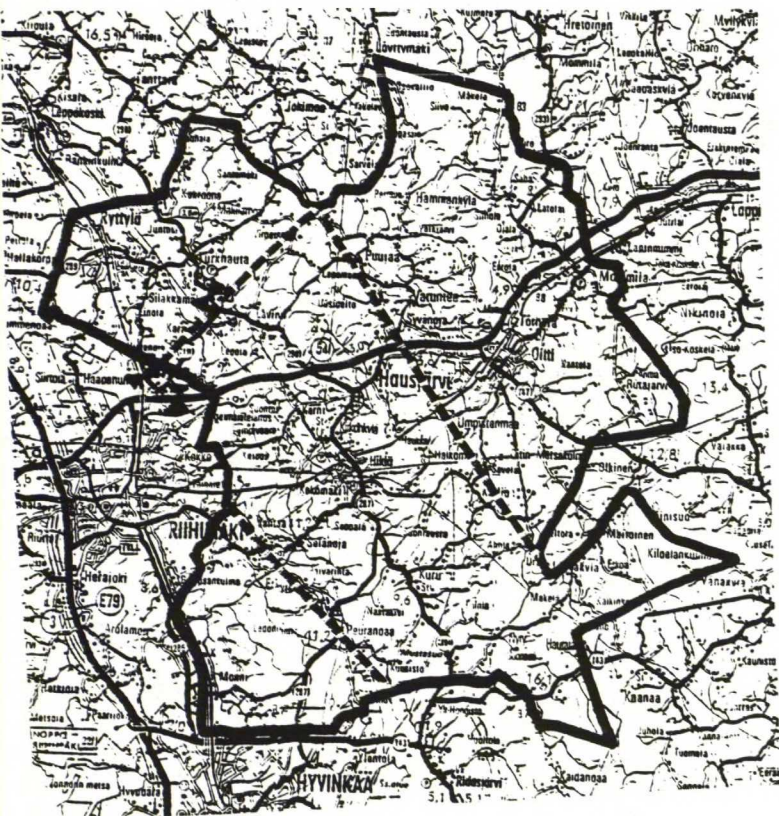
KOUVOLA



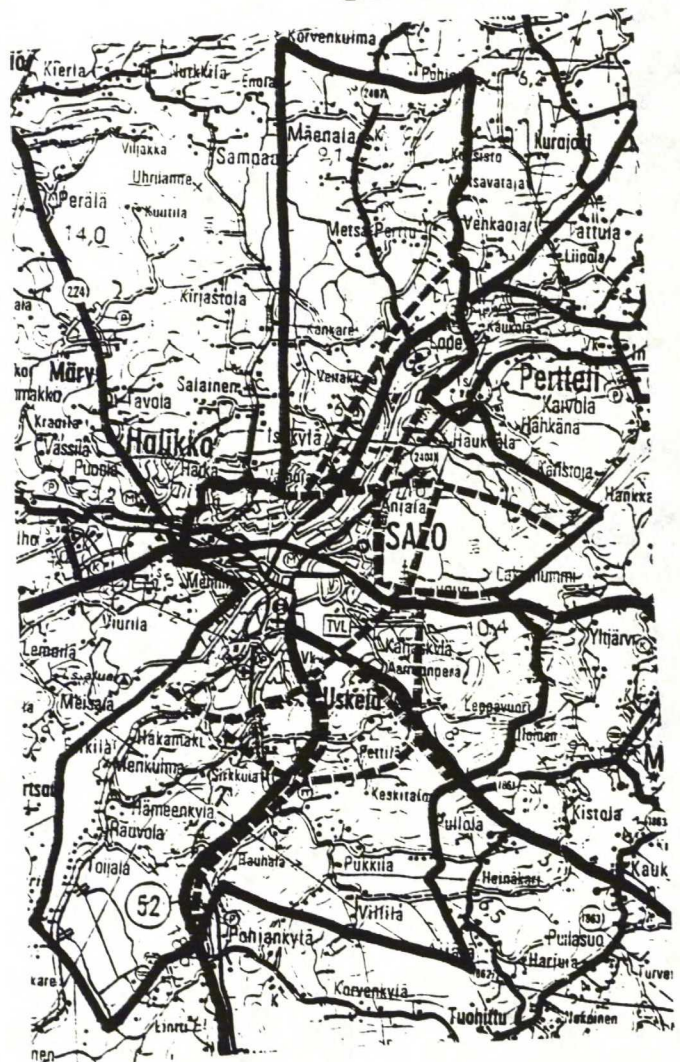
HALIKKO

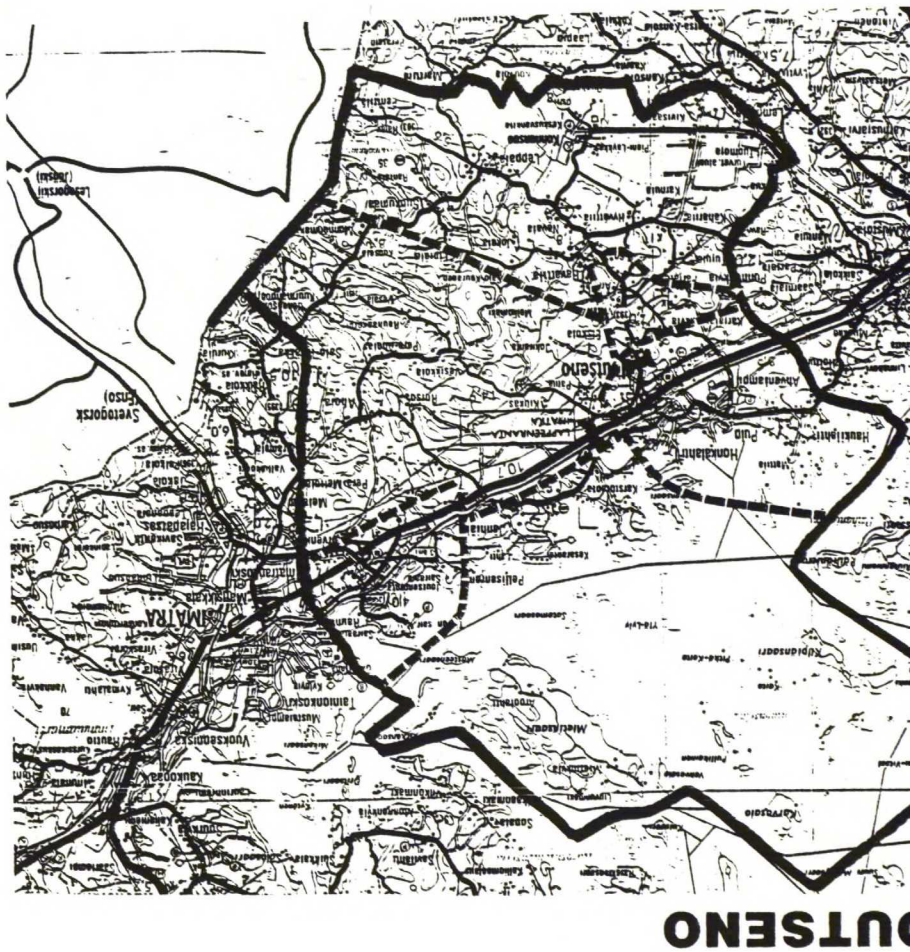
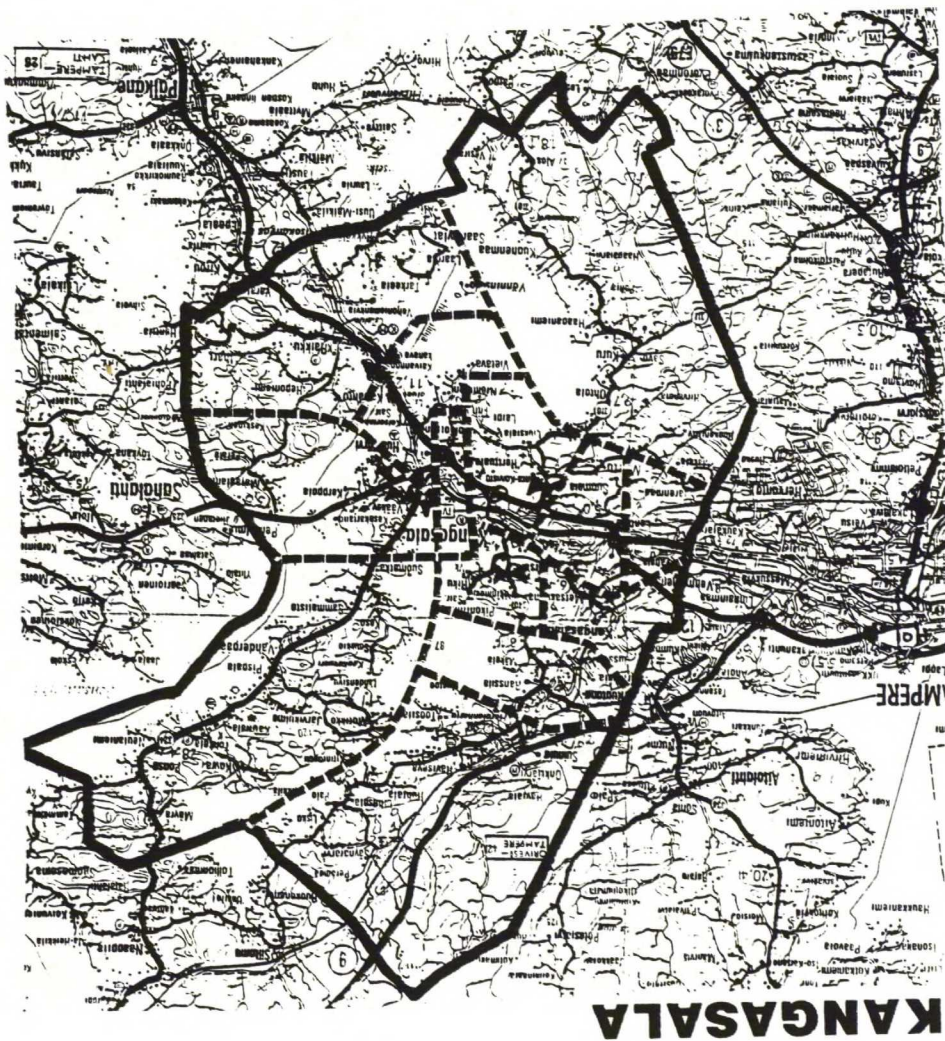


HAUSJÄRVI



SALO





LIITE 3

Haastattelulomake

Diagram illustrating the layout of a form with 10 fields for data entry:

- Row 1: vuosi, piiri, numero
- Row 2: pste, suunta
- Row 3: liikko, viikone-päivä, tunti, sivunumero

Pinto
Quinta
Tunti

Tutkimus
Haastattelija
Tutkimuspaik
Kondnaja

[illegible]

LIITE 4

Estimoidut mallit

KAIKKIEEN MATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL)_{i-j}=0.02435*(AS_i+AS_j)^{0.412}*(TP_i+TP_j)^{0.698}$			$R^2=0.47$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.412	6.0	0.068
TP	0.698	12.6	0.056

2.

$T(KAVL)_{i-j}=0.06879*(AS_i+AS_j)^{0.621}*(TP_i+TP_j)^{0.283}$ $* \left (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) \right ^{0.155}*1.894^{DUMMY}$			$R^2=0.52$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.583	7.4	0.078
TP	0.516	7.4	0.069
omav.	0.155	4.2	0.037
DUMMY	1.894	4.7	0.273

3.

$T(KAVL)_{i-j}=0.03187*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.520}$ $* \left (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) \right ^{0.169}*1.860^{DUMMY}$			$R^2=0.59$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.520	15.2	0.034
omav.	0.169	6.5	0.026
DUMMY	1.860	5.6	0.208

4.

$T(KAVL)_{i-j} = 0.04342 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.506}$ $* \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.130}$ $* e^{-0.072 * (\ln(d/2))^2 * 1.905^{DUMMY}}$			$R^2 = 0.61$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.506	15.0	0.034
omav.	0.130	4.7	0.028
d	-0.072	-3.8	0.019
DUMMY	1.905	6.2	0.209

KEVYIDEN MATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL_k)_{i-j} = 0.01740 * (AS_i + AS_j)^{0.424} * (TP_i + TP_j)^{0.731}$			$R^2 = 0.48$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.424	6.0	0.069
TP	0.731	13.1	0.056

2.

$T(KAVL_k)_{i-j} = 0.02170 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.543}$ $* \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.176}$ $* 1.856^{DUMMY}$			$R^2 = 0.60$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.543	15.6	0.035
omav.	0.176	6.7	0.026
DUMMY	1.856	5.8	0.208

3.

$T(KAVL_k)_{i-j} = 0.03281 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.526}$ $* \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.134}$ $* e^{-0.053 * (\ln(d))^2 * 1.906^{DUMMY}}$			$R^2 = 0.62$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.526	15.3	0.034
omav.	0.134	4.8	0.028
d	-0.053	-4.0	0.013
DUMMY	1.906	6.2	0.210

RASKAIDEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL_r)_{i-j} = 5.3185 * e^{0.000943 * MUTP_i + 0.00117 * MUTP_j}$			$R^2 = 0.15$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
MUTPi	0.000943	3.4	0.00028
MUTPj	0.00117	2.7	0.00043

2.

$T(KAVL_r)_{i-j} = 4.8089$ $* e^{0.00097 * (MUTP_i + MUTP_j) + 0.000036 * (AS_i + AS_j)}$			$R^2 = 0.16$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
MUTP	0.00097	4.3	0.00023
AS	0.000036	0.4	0.000031

TYÖMATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL_t)_{i-j} = 0.00562 * (AS_i + AS_j)^{0.568} * (TP_i + TP_j)^{0.592}$			$R^2 = 0.45$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.568	10.0	0.074
TP	0.592	7.7	0.059

2.

$T(KAVL_t)_{i-j} = 0.00614 * (AS_i + AS_j)^{0.747} * (TP_i + TP_j)^{0.397} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.162}$			$R^2 = 0.48$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.747	8.9	0.084
TP	0.397	5.4	0.074
omav.	0.162	4.2	0.038

3.

$T(KAVL_t)_{i-j} = 0.00789 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.552} * \left (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right ^{0.128} * 1.731^{DUMMY}$			$R^2 = 0.55$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.552	14.0	0.039
omav.	0.128	4.6	0.028
DUMMY	1.731	4.8	0.208

ASIOINTIMATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL_a)_{i-j}=0.01912*(AS_i+AS_j)^{0.316}*(TP_i+TP_j)^{0.695}$			$R^2=0.38$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.316	3.9	0.082
TP	0.695	10.2	0.068

2.

$T(KAVL_a)_{i-j}=0.03230*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.442}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.148}$ $*2.160^{DUMMY}$			$R^2=0.50$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.442	10.5	0.042
omav.	0.148	4.6	0.032
DUMMY	2.160	6.2	0.287

3.

$T(KAVL_a)_{i-j}=0.08475*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.422}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.114}$ $*e^{-0.165*(\ln(d/4))^2}*1.701^{DUMMY}$ $*((PATP_i+PATP_j)/PATP_{kunta})^{0.242}$			$R^2=0.54$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.435	10.2	0.041
omav.	0.124	3.5	0.033
d	-0.130	-3.4	0.049
DUMMY	2.245	3.6	0.266
PATP	0.242	3.5	0.069

KULJETUSMATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVL_{ku})_{i-j}=0.1852*(AS_i+AS_j)^{0.190}*(TP_i+TP_j)^{0.364}$			$R^2=0.20$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.190	2.5	0.076
TP	0.364	5.1	0.071

2.

$T(KAVL_{ku})_{i-j}=0.2821*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.228}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.072}$ $*1.763^{DUMMY}$			$R^2=0.32$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.228	5.2	0.044
omav.	0.072	2.2	0.033
DUMMY	1.763	4.4	0.244

3.

$T(KAVL_{ku})_{i-j}=0.3623*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.214}$ $*e^{-0.192*(\ln(d/4.7))^2}*1.938^{DUMMY}$			$R^2=0.34$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.214	5.0	0.043
d	-0.192	-3.3	0.058
DUMMY	1.938	5.3	0.257

MUIDEN MATKOJEN KAVL-MALLIT

1.

$T(KAVLm)_{i-j}=0.00582*(AS_i+AS_j)^{0.725}*(TP_i+TP_j)^{0.325}$			$R^2=0.43$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS	0.725	8.6	0.084
TP	0.325	5.0	0.065

2.

$T(KAVLm)_{i-j}=0.00278*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.590}$			$R^2=0.50$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.590	14.8	0.040

AAMUHUIPPUTUNNIN MALLIT

1.

$T(AHT)_{ij}=0.05544*AS_i^{0.098}*TP_i^{0.242}*TP_j^{0.369}$			$R^2=0.34$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS _i	0.098	1.9	0.052
TP _i	0.242	5.2	0.047
TP _j	0.369	7.7	0.048

2.

$T(AHT)_{ij}=0.01340*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.390}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.170}$			$R^2=0.39$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP omav.	0.390 0.170	9.5 5.7	0.041 0.030

3.

$T(AHT)_{ij}=0.01762*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.363}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.157}$ $*1.659^{DUMMY}$			$R^2=0.44$
muuttuja	estimaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP omav.	0.363 0.157	9.0 5.5	0.040 0.027
DUMMY	1.659	3.9	0.230

ILTAHUIPPUTUNNIN MALLIT

1.

$T(IHT)_{ij}=0.03944*AS_j^{0.249}*TP_i^{0.407}*TP_j^{0.176}$			$R^2=0.49$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS _j	0.249	5.3	0.047
TP _i	0.407	10.0	0.042
TP _j	0.176	3.4	0.052

2.

$T(IHT)_{ij}=0.05439*AS_j^{0.242}*TP_i^{0.413}*TP_j^{0.139}$ $*e^{-0.079*(\ln(d/2.8))^2}$			$R^2=0.50$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS _j	0.242	5.2	0.047
TP _i	0.413	9.9	0.042
TP _j	0.139	2.6	0.054
d _j	-0.079	-2.2	0.036

3.

$T(IHT)_{ij}=0.00729*((AS_i+TP_i)*(AS_j+TP_j))^{0.450}$ $* (TP_i/AS_i)-(TP_j/AS_j) ^{0.127}$ $*1.597^{DUMMY}$			$R^2=0.53$
muuttuja	estmaatti	t-arvo	keskihajonta
AS+TP	0.450	10.3	0.044
omav.	0.127	3.6	0.035
DUMMY	1.597	3.1	0.257

KORJATUT MALLIT

1.

$$T(KAVL)_{i-j} = 0.08832 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.506} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.130} \\ * e^{-0.072 * (\ln(d/2))^2 * 1.905^{DUMMY}}$$

2.

$$T(KAVL_k)_{i-j} = 0.06296 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.526} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.134} \\ * e^{-0.053 * (\ln(d))^2 * 1.906^{DUMMY}}$$

3.

$$T(KAVL_r)_{i-j} = 28.026 \\ * e^{0.00097 * (MUTP_i + MUTP_j) + 0.000036 * (AS_i + AS_j)}$$

4.

$$T(KAVL_t)_{i-j} = 0.01886 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.552} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.128} * 1.906^{DUMMY}$$

5.

$$T(KAVL_a)_{i-j} = 0.2209 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.422} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.114} \\ * e^{-0.165 * (\ln(d/4))^2 * 1.701^{DUMMY}} \\ * ((PATP_i + PATP_j) / PATP_{kunta})^{0.242}$$

6.

$$T(KAVL_{ku})_{i-j} = 1.242 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.214} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.114} \\ * e^{-0.165 * (\ln(d/4.7))^2 * 1.938^{DUMMY}}$$

7.

$$T(KAVL_m)_{i-j} = 0.00722 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.590}$$

8.

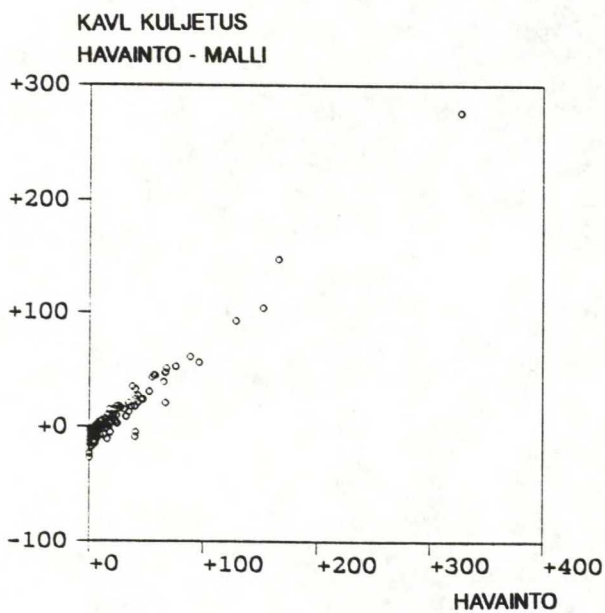
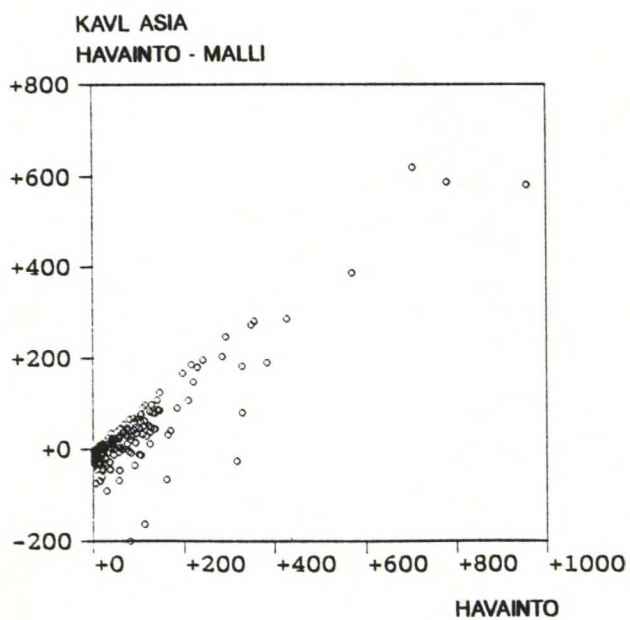
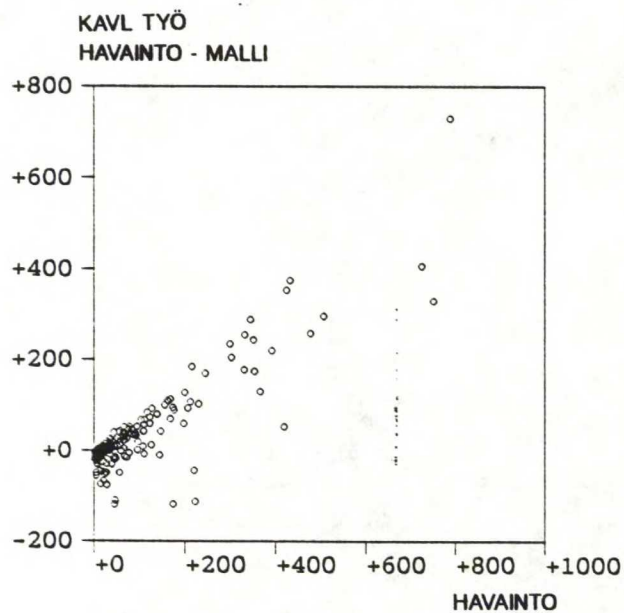
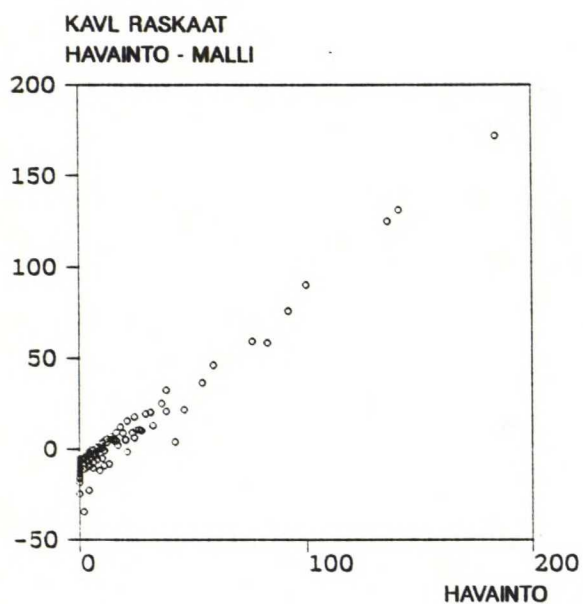
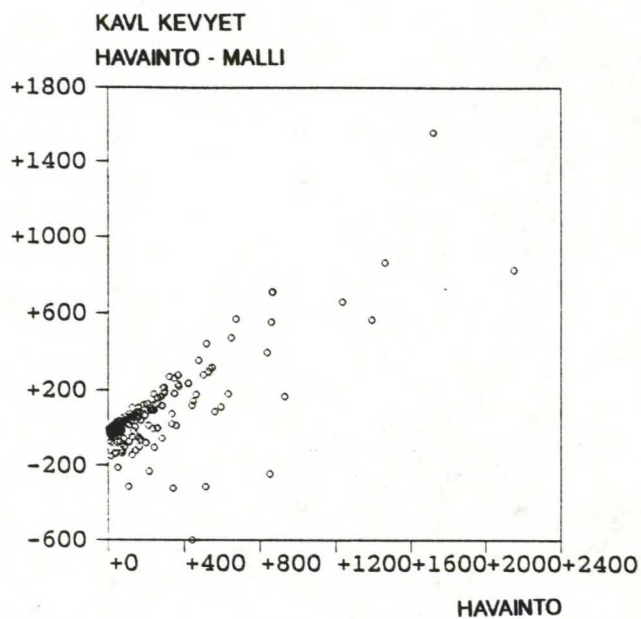
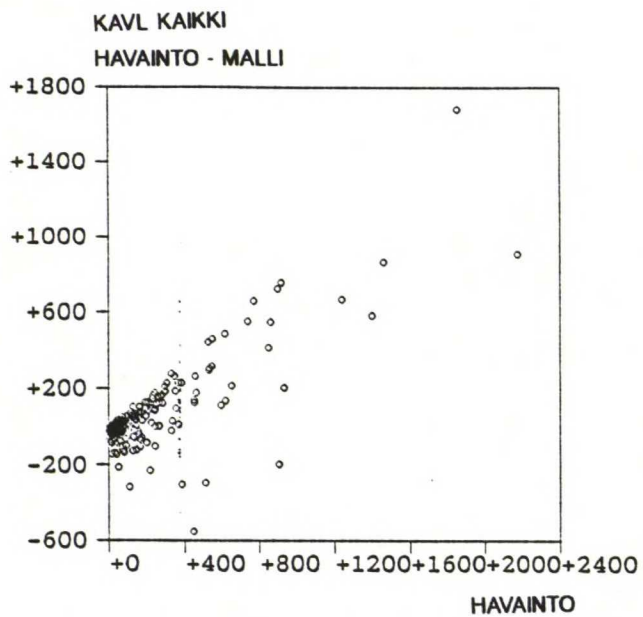
$$T(AHT)_{ij} = 0.05466 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.363} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.157} * 1.659^{DUMMY}$$

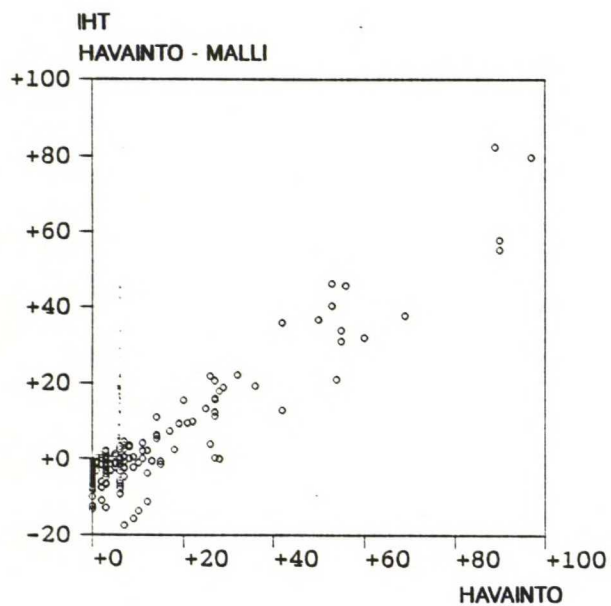
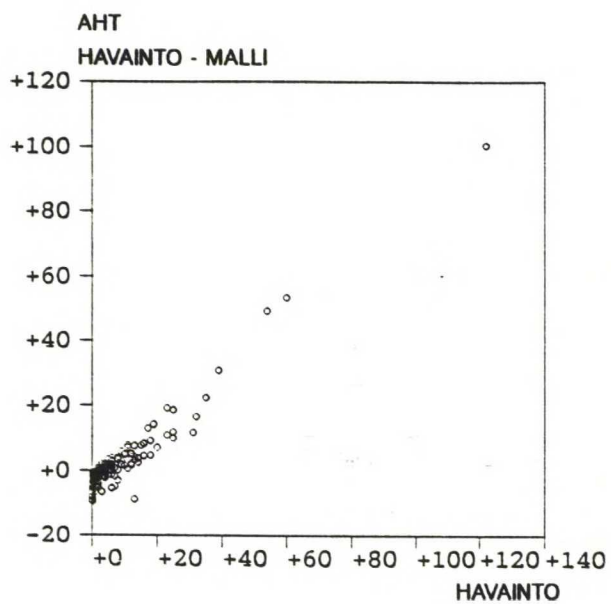
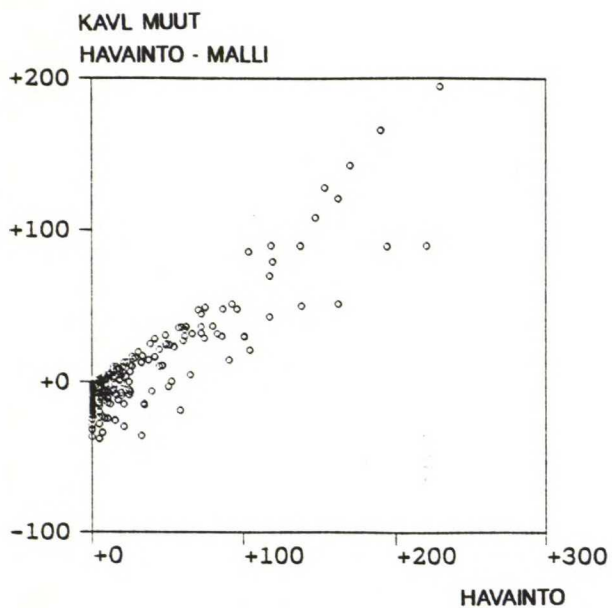
9.

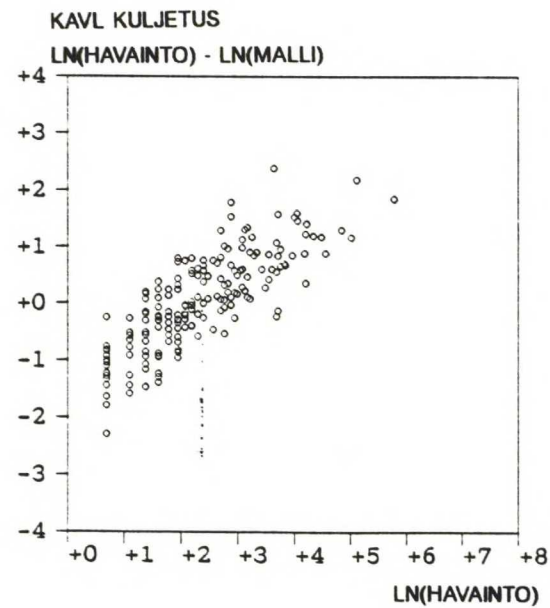
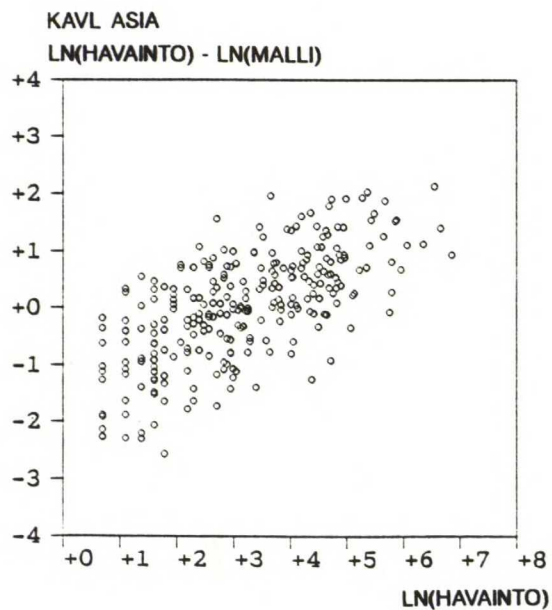
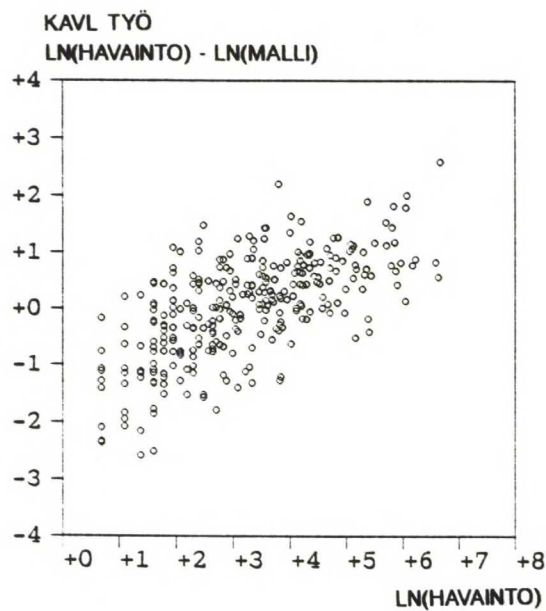
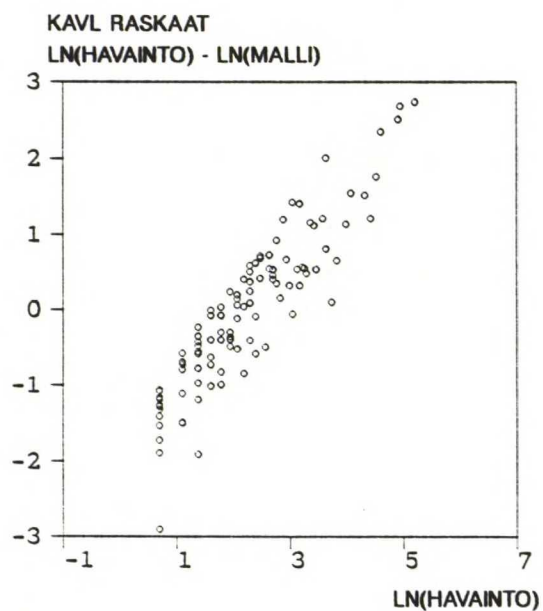
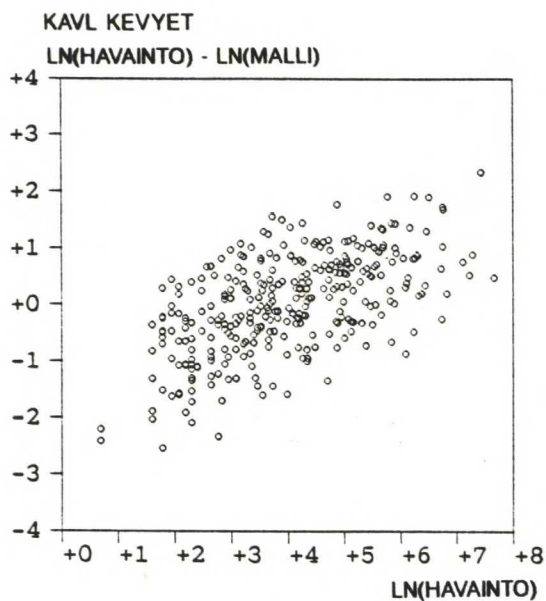
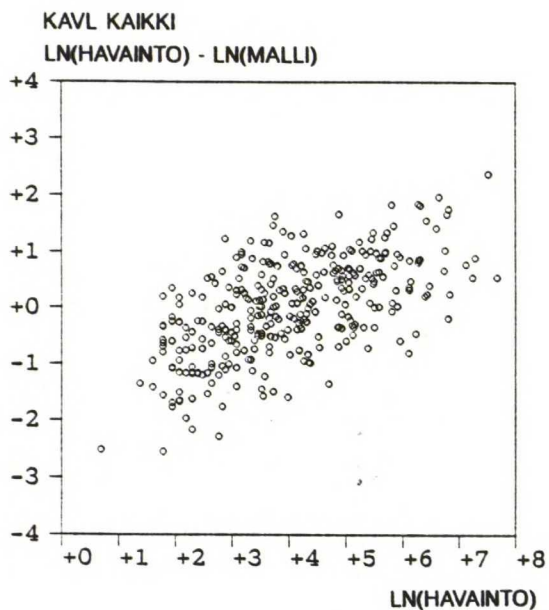
$$T(IHT)_{ij} = 0.01894 * ((AS_i + TP_i) * (AS_j + TP_j))^{0.450} \\ * \left| (TP_i / AS_i) - (TP_j / AS_j) \right|^{0.127} * 1.597^{DUMMY}$$

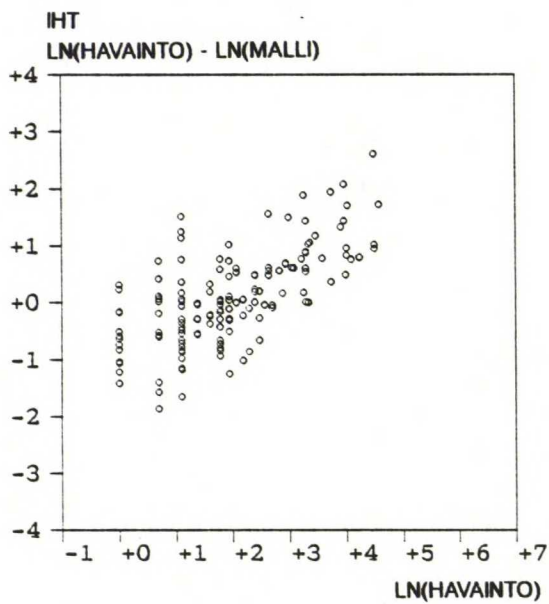
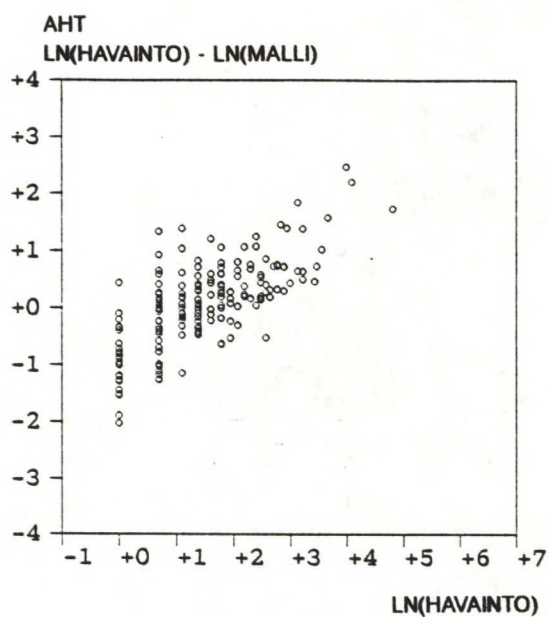
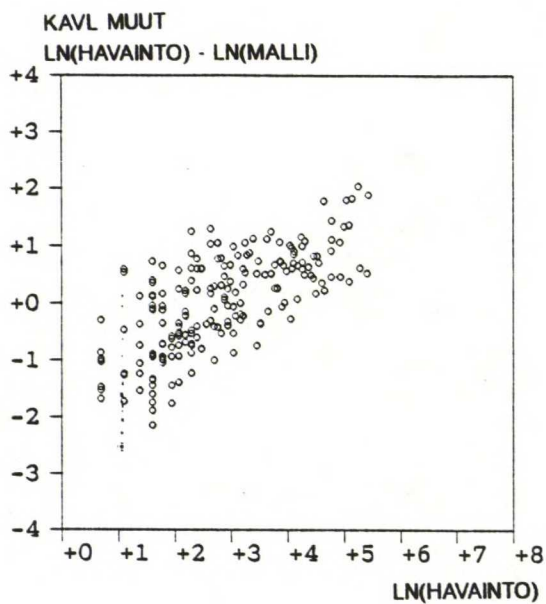
LIITE 5

Päämallien residuaalit





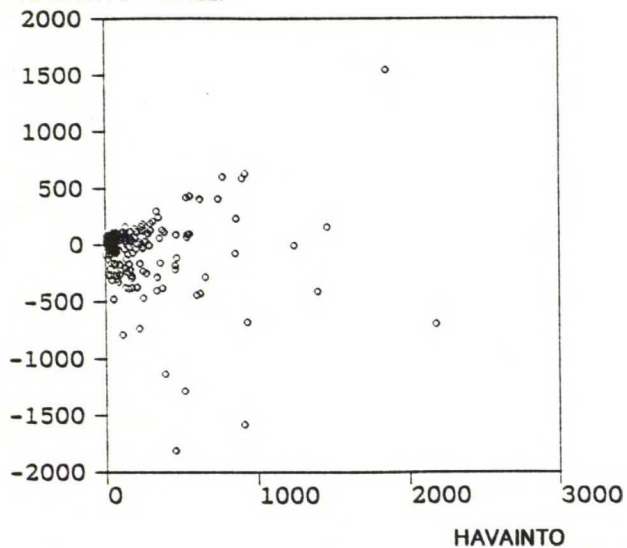




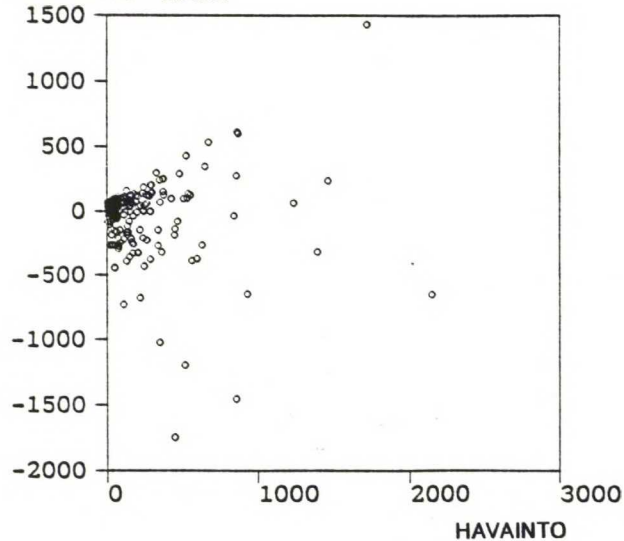
LIITE 6

Korjattujen päämallien residuaalit

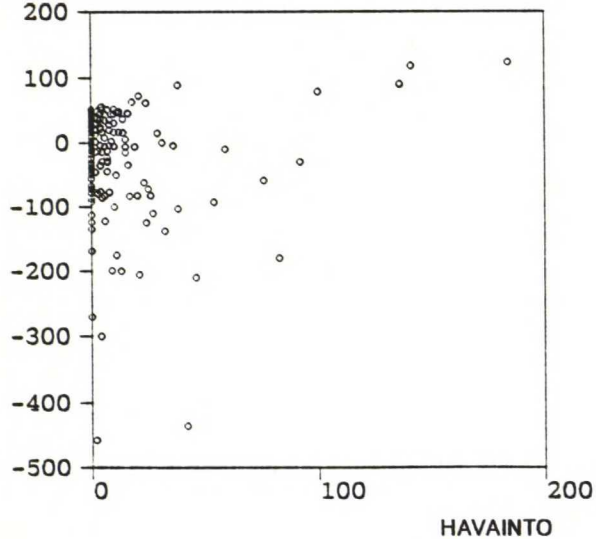
KAVL KAIKKI
HAVAINTO - MALLI



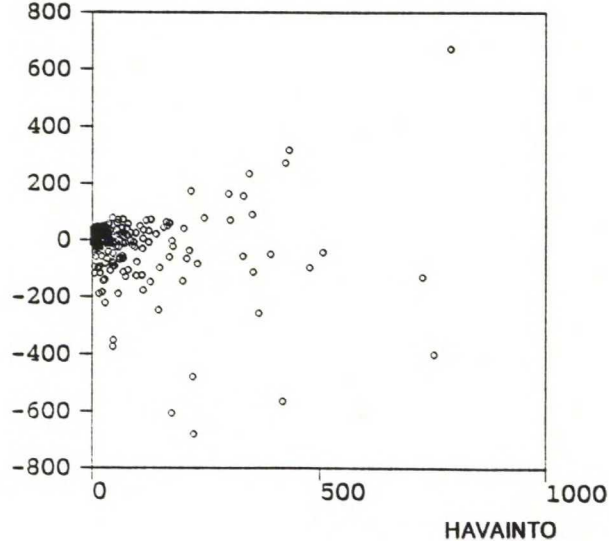
KAVL KEVYET
HAVAINTO - MALLI



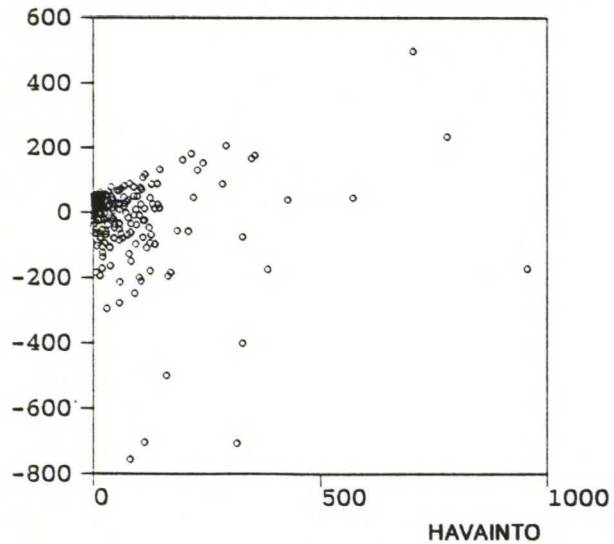
KAVL RASKAAT
HAVAINTO - MALLI



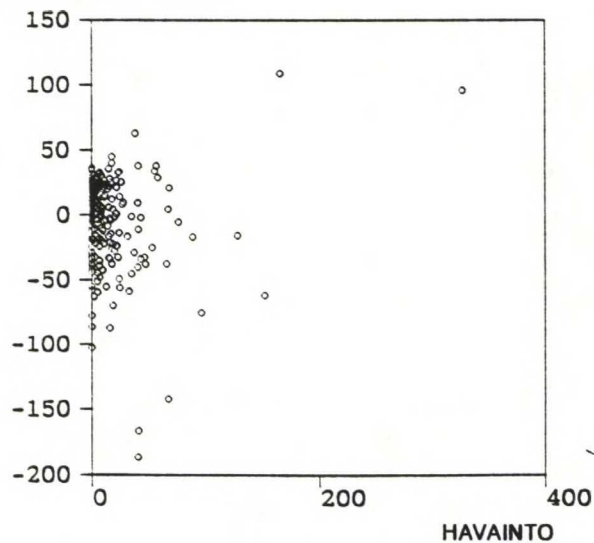
KAVL TYÖ
HAVAINTO - MALLI



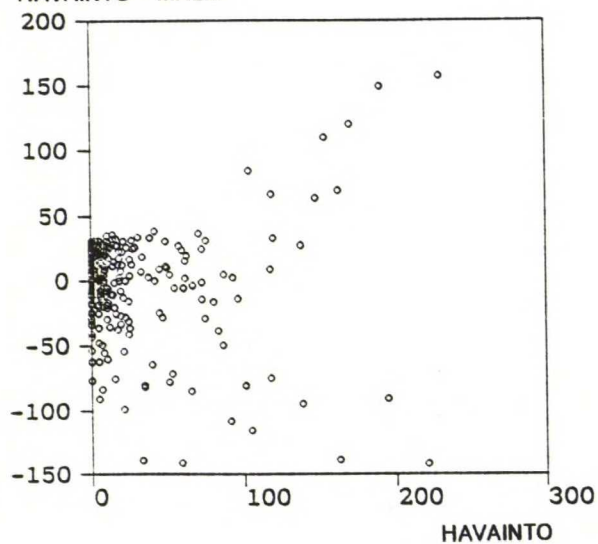
KAVL ASIA
HAVAINTO - MALLI



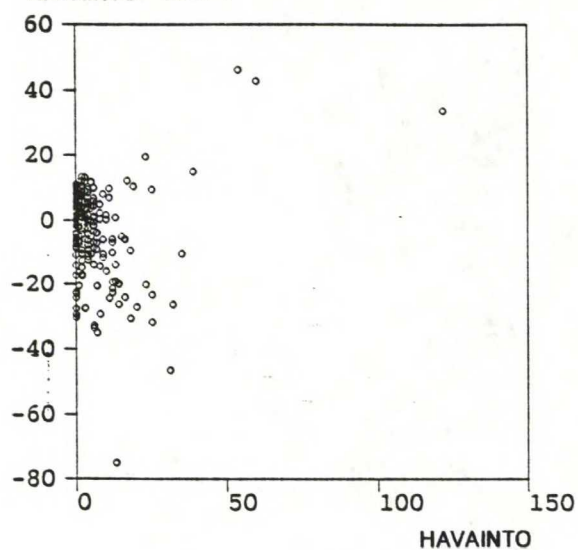
KAVL KULJETUS
HAVAINTO - MALLI



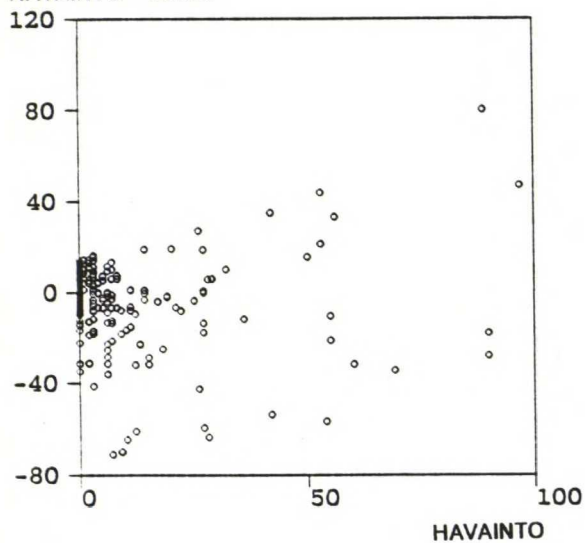
KAVL MUUT
HAVAINTO - MALLI



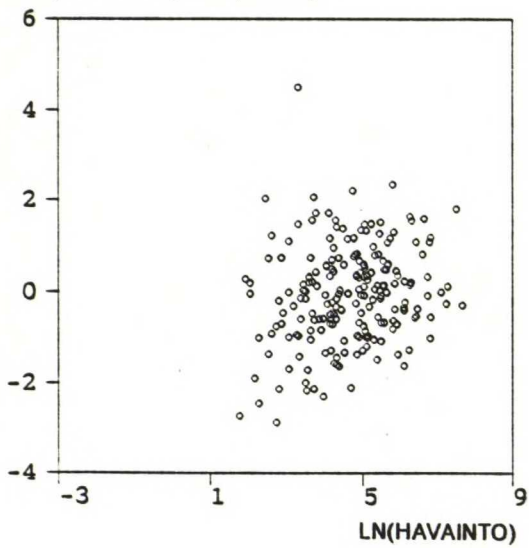
AHT
HAVAINTO - MALLI



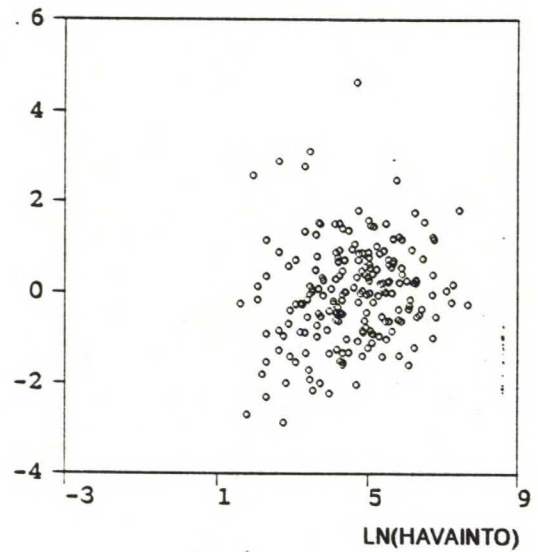
IHT
HAVAINTO - MALLI



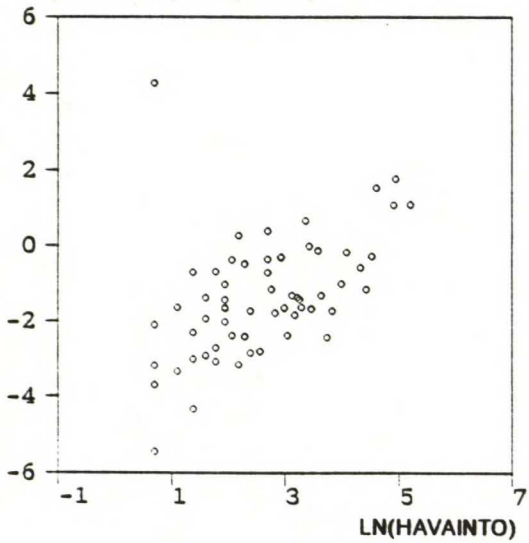
KAVL KAIKKI
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



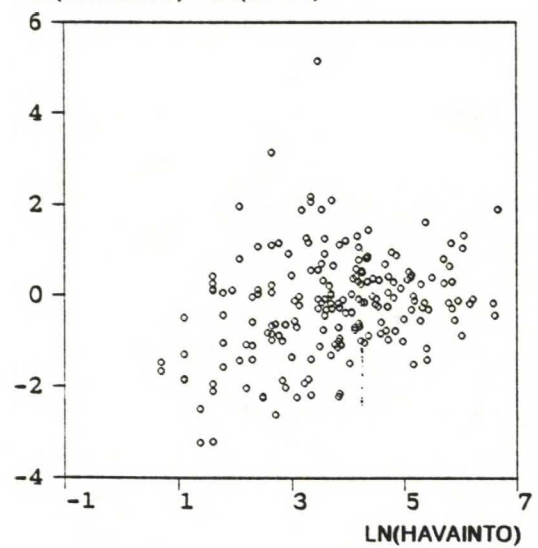
KAVL KEVYET
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



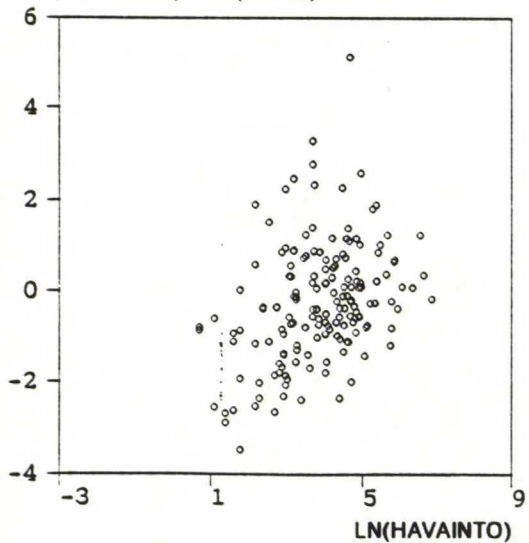
KAVL RASKAAT
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



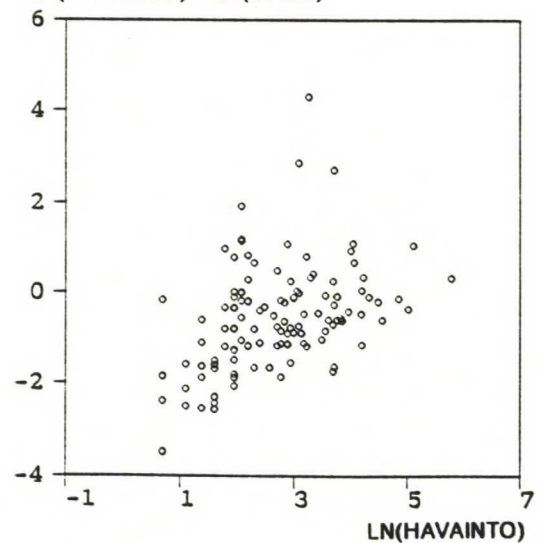
KAVL TYÖ
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



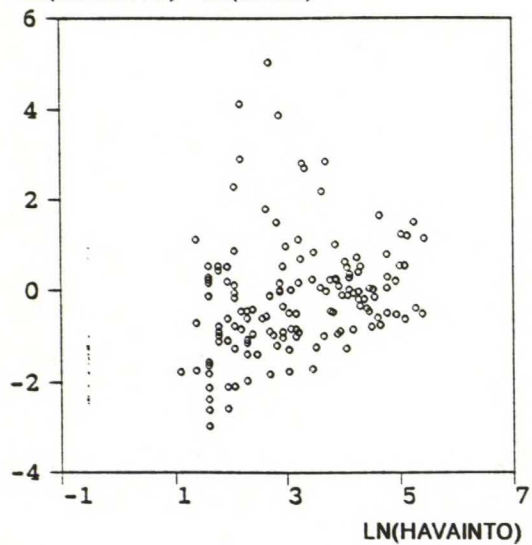
KAVL ASIA
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



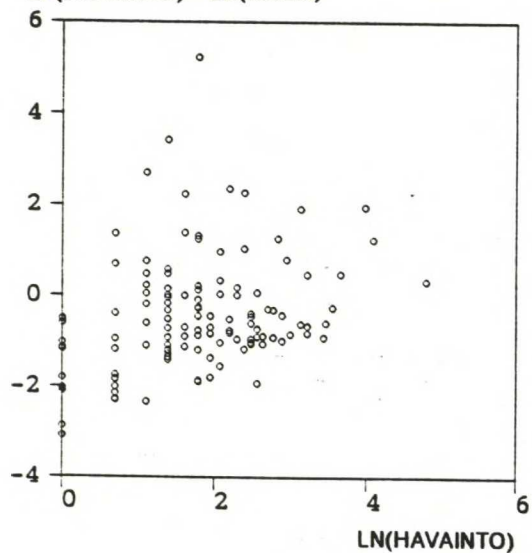
KAVL KULJETUS
LN(HAVAINTO) - LN(MALLI)



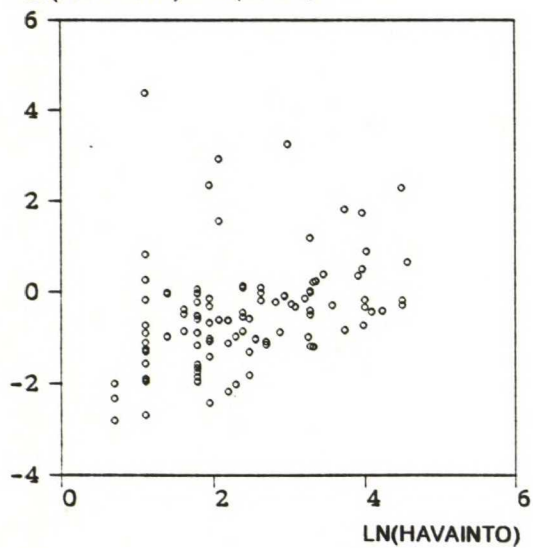
KAVL MUUT
 $\text{LN(HAVAINTO)} - \text{LN(MALLI)}$



AHT
 $\text{LN(HAVAINTO)} - \text{LN(MALLI)}$



IHT
 $\text{LN(HAVAINTO)} - \text{LN(MALLI)}$

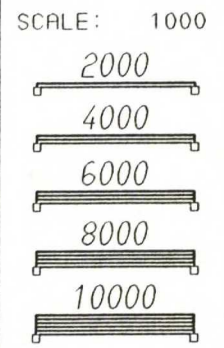


LIITE 7

Joensuun sijoittelut



LINKS:
 vdf=1.8
 vdf=10.18



WINDOW:
 2.6354/2.3509
 11.773/9.2038

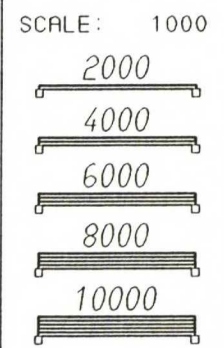
EMME/2 PROJECT: ** JOENSUUN KATUVERKON MUUTOKSET **
 SCENARIO 3: NYKYVERKKO 1988 Sisaiset korjattu malli KAVL 1988

LVOKAO

DATE: 93 01 28
 MODULE: 6.12
 PANPLAN....jpe



LINKS:
vdf=1.8
vdf=10.18



WINDOW:
2.6354/2.3509
11.773/9.2038

EMME/2 PROJECT: ** JOENSUUN KATUVERKON MUUTOKSET **
SCENARIO 5: NYKYVERKKO 1988 Liikennetutkimuksen sisoiset KAVL 1988

DATE: 93 01 28
MODULE: 6 12
PANPLAN...ipe

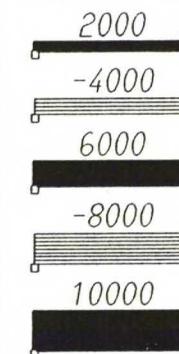


DIFF: 3- 5

LINKS:
vdf=1.8
! vdf=10.18

THRESHOLD:
LOWER: -*****
UPPER: *****

SCALE: 500



WINDOW:
2.6354/2.3509
11.773/9.2038

EMME/2 PROJECT: ** JOENSUUN KATUVERKON MUUTOKSET **
SCENARIO 3: NYKYVERKKO 1988 Sisaiset korjattu malli KAVL 1988
SCENARIO 5: NYKYVERKKO 1988 Liikennetutkimuksen sisaiset KAVL 1988

LVOKAO

DATE: 93 01 28
MODULE: 6.13
PANPLAN...ipe